

DER EINFLUSS VERSCHIEDENARTIGER HOLZARTEN
AUF DIE EIGENSCHAFTEN DREISCHICHTIGER
SPANPLATTEN, INSBESONDERE AUF DEREN
DECKSCHICHTQUALITÄT

DISSERTATION

zur Erlangung des

Doktorgrades der Forstwissenschaft
an der Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von
Diplom - Forstingenieur
Athanasios Grigoriou
aus Thessaloniki / Griechenland

1979



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41551927_0061

DER EINFLUSS VERSCHIEDENARTIGER HOLZARTEN AUF DIE
EIGENSCHAFTEN DREISCHICHTIGER SPANPLATTEN, INSBE-
SONDERE AUF DEREN DECKSCHICHTQUALITÄT

DISSERTATION

zur Erlangung des

Doktorgrades der Forstwissenschaft
an der Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von

Diplom - Forstingenieur

Athanassios Grigoriou

aus Thessaloniki/Griechenland

München, November 1978

1. Gutachter: Professor Dr. H. Schulz, München
2. Gutachter: Professor Dr. A. Schneider, München

3. Gutachter: Professor Dr. D. Noack, Hamburg
Tag der mündlichen Prüfung: 15. Februar 1979

"Gedruckt mit Unterstützung des Deutschen Akademischen
Austauschdienstes".



V o r w o r t

Die vorliegende Arbeit entstand in den Jahren 1975 bis 1979 am Institut für Holzforschung der Ludwig-Maximilians-Universität München auf Anregung des Leiters dieses Institutes, Prof. Dr. H. Schulz.

Herrn Prof. Dr. Schulz möchte ich für das stets bekundete Interesse an der Arbeit sowie für die äußerst hilfsbereite Unterstützung meinen besonderen Dank aussprechen.

Herrn Diplom-Holzwirt F.K. Tröger war die Mühe auferlegt, die Arbeit in ihren Detailphasen zu betreuen. Für seine wertvollen Hinweise, seine tatkräftige Hilfe und die sprachliche Korrektur meiner Arbeit, was insgesamt zum Gelingen der Arbeit in hohem Maße beigetragen hat, danke ich ihm ganz besonders herzlich.

Darüber hinaus danke ich den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Holzforschung der Universität München für die häufig und vielfältig gewährten Hilfeleistungen. Stellvertretend für alle anderen möchte ich Herrn F. Hey nennen, der mir fast während der gesamten Untersuchungszeit half.

Schließlich danke ich auch den Staatlichen Forstämtern sowie der Verwaltung des Stiftungswaldes der Ludwig-Maximilians-Universität München, die mir freundlicherweise Versuchsmaterial zur Verfügung gestellt hatten.

Inhaltsverzeichnis

	<u>Abkürzungen und Symbole</u>	<u>Seite</u>
1.	<u>Problemstellung und Zielsetzung</u>	1
2.	<u>Ausgangsmaterial und Späneaufbereitung</u>	7
2.1.	Die verwendeten Holzarten	7
2.2.	Späneaufbereitung	13
2.2.1.	Mittelschichtspäne	13
2.2.2.	Deckschichtspäne	13
3.	<u>Charakterisierung des verwendeten Spänematerials</u>	20
3.1.	Allgemeines	20
3.2.	Fraktionierung der Späne	20
3.2.1.	Methode	20
3.2.2.	Fraktionsanteile der Mittelschichtspäne	22
3.2.3.	Fraktionsanteile der Deckschichtspäne	24
3.3.	Bestimmung der Spandimensionen	30
3.3.1.	Methode	30
3.3.2.	Spanlänge und Spanbreite der Deckschichtspäne	32
3.3.3.	Spandicke der Mittelschicht- und Deckschichtspäne	33
3.4.	Schüttgewicht der verschiedenen Spanarten	34
3.4.1.	Methode	34
3.4.2.	Schüttgewicht der Mittelschichtspäne	35
3.4.3.	Schüttgewicht der Deckschichtspäne	36

	<u>Seite</u>
3.5. Kompressibilität	37
3.5.1. Methode	38
3.5.2. Kompressibilität der Mittelschichtspäne	38
3.5.3. Kompressibilität der Deckschichtspäne	40
4. <u>Herstellung der dreischichtigen Spanplatten</u>	44
4.1. Die Spanplattenarten	44
4.2. Beleimung	44
4.2.1. Beleimung der Mittelschichtspäne	44
4.2.2. Beleimung der Deckschichtspäne	46
4.3. Pressen	50
4.3.1. Preßbedingungen	50
4.3.2. Verdichtungsgeschwindigkeit	51
4.4. Klimatisieren und Schleifen der Spanplatten	52
5. <u>Untersuchung der Eigenschaften der dreischichtigen Spanplatten</u>	55
5.1. Probenentnahme	55
5.2. Die Anwendung mathematisch-statistischer Methoden	57
5.3. Rohdichtedifferenzierung des Querschnitts	58
5.3.1. Methode	58
5.3.2. Rohdichte der Deckschicht	59
5.3.3. Rohdichte der Mittelschicht	61
5.4. Mechanische Eigenschaften	63
5.4.1. Methode	63
5.4.2. Querzugfestigkeit	63
5.4.3. Biegefestigkeit	65
5.4.4. Abhebefestigkeit	67

	<u>Seite</u>
5.5.	Physikalische Eigenschaften 70
5.5.1.	Feuchtigkeits- und Dickenänderung des gesamten Spanplattenquerschnitts, der Mittelschicht und der Deckschicht, bei Übergang vom Normalklima (20/65) zu einem Feuchtklima (20/90) 70
5.5.1.1.	Methode 70
5.5.1.2.	Feuchtigkeits- und Dickenänderung des gesamten Spanplattenquerschnitts 71
5.5.1.3.	Feuchtigkeits- und Dickenänderung der Mittel- schicht 75
5.5.1.4.	Feuchtigkeits- und Dickenänderung der Deckschicht 78
5.5.2.	Wasseraufnahme und Dickenänderung der Deckschich- ten bei Wasserlagerung der Spanplatten mit abge- dichteten Querschnittsflächen 86
5.5.2.1.	Methode 86
5.5.2.2.	Wasseraufnahme und Dickenänderung der Deckschich- ten 87
5.6.	Prüfung der Rauheit der Spanplattenoberflächen 92
5.6.1.	Allgemeines 92
5.6.2.	Methode 93
5.6.3.	Oberflächenrauheit der normalklimatisierten Span- platten 96
5.6.4.	Oberflächenrauheit der feuchtklimatisierten Span- platten 97
5.6.5.	Oberflächenrauheit der rückklimatisierten Span- platten 98
5.6.6.	Feuchtigkeitsgehalt der Deckschichten und der Mittelschicht der Versuchsspanplatten nach ver- schiedener Klimatisierung bis zum hygroskopischen Gleichgewicht 104
6.	<u>Zusammenfassung</u> 106
7.	<u>Literaturverzeichnis</u> 114
	<u>Anhang</u> 128

Abkürzungen und Symbole

b	: Breite der Späne
$\frac{b}{d}$	: Platttheit der Späne
$\bar{b}_{g_b}$	: Gewichteter geometrischer Mittelwert der Breite beleimter Späne
$\bar{b}_{g_u}$	: Gewichteter geometrischer Mittelwert der Breite unbeleimter Späne
Bu _{50,65}	: Rotbuchen-Mittelschicht mit 50 % bzw. 65 % Anteil
d	: Dicke der Späne
d_f	: Dicke der Probe bei Gleichgewichtszustand in einem Feuchtklima (20/90)
d_n	: Dicke der Probe bei Gleichgewichtszustand im Normalklima (20/65)
DS	: Deckschicht einer dreischichtigen Spanplatte
DS-Anteil	: Deckschicht-Gewichtsanteil
DS _{35,50}	: Deckschicht mit 35 % bzw. 50 % Anteil
DS _{35/Ki} ₆₅	: Spanplatte mit 35 % Deckschichtanteil und Kiefer als Mittelschicht mit 65 % Anteil
DS _{50/Ki} ₅₀	: Spanplatte mit 50 % Deckschichtanteil und Kiefer als Mittelschicht mit 50 % Anteil
DS _{35/Bu} ₆₅	: Spanplatte mit 35 % Deckschichtanteil und Rotbuche als Mittelschicht mit 65 % Anteil
DS _{50/Bu} ₅₀	: Spanplatte mit 50 % Deckschichtanteil und Rotbuche als Mittelschicht mit 50 % Anteil
Δ_u	: Feuchtigkeitsänderung
Δ_d	: Dickenänderung
FK	: Feuchtklima: 20°C Temperatur und 90 % relative Luftfeuchte (20/90)

G_f	: Gewicht der Probe beim Gleichgewichtszustand in einem Feuchtklima (20/90)
G_n	: Gewicht der Probe beim Gleichgewichtszustand im Normalklima (20/65)
GS	: Gesamter Spanplattenquerschnitt einer dreischichtigen Spanplatte
h	: Stunde
K	: Kompressibilität der Späne
K_b	: Kompressibilität der beleimten Späne
K_u	: Kompressibilität der unbeleimten Späne
$Ki_{50, 65}$	: Kiefern-Mittelschicht mit 50 % bzw. 65 % Anteil
l	: Länge der Späne
$\frac{l}{b}$	: Breitenverhältnis der Späne
$\frac{l}{d}$	: Schlankheitsgrad der Späne
l_e	: Einzelmeßstrecke
$\bar{l}_{g_b}$	: Gewichteter geometrischer Mittelwert der Länge beleimter Späne
$\bar{l}_{g_u}$	: Gewichteter geometrischer Mittelwert der Länge unbeleimter Späne
l_m	: Gesamtmeßstrecke
l_n	: Nachlaufstrecke
l_t	: Taststrecke
l_v	: Vorlaufstrecke
MS	: Mittelschicht einer dreischichtigen Spanplatte
$MS_{50,65}$	: Mittelschicht mit 50 % bzw. 65 % Anteil
MW	: Siebmaschenweite

N	:	Anzahl der Proben
NK	:	Normalklima: 20°C Temperatur und 65 % relative Luftfeuchte (20/65)
P	:	Preßdruck
r	:	Radius
r_o	:	Rohdichte im Darrzustand
RNK	:	Rückklimatisierung vom Feuchtklima (20/90) auf Normalklima (20/65)
R_z	:	Gemittelte Rauhtiefe nach DIN 4768
S	:	Schüttgewicht der Späne
S_b	:	Schüttgewicht der beleimten Späne
S_u	:	Schüttgewicht der unbeleimten Späne
t	:	Berechneter Prüfwert für die Wirksamkeit einer betreffenden Einflußgröße
u	:	Feuchtigkeitsgehalt
v	:	Variationskoeffizient in %
Z_i	:	Einzelrautiefe
$\bar{x}$	:	Arithmetischer Mittelwert
x_g	:	Geometrisches Mittel
$\bar{x}_g$	:	Gewichteter geometrischer Mittelwert
(20/65)	:	Normalklima: 20°C Temperatur und 65 % relative Luftfeuchte
(20/90)	:	Feuchtklima: 20°C Temperatur und 90 % relative Luftfeuchte

1. PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG

Die Spanplatte ist entwicklungsgeschichtlich gesehen der jüngste Plattenwerkstoff aus Holz verglichen mit den Werkstoffen Sperrholz, Faser- und Tischlerplatten. Den größten Teil der Spanplattenproduktion übernimmt in der Mehrzahl der westeuropäischen Länder die Möbelindustrie, während in den skandinavischen Ländern die größere Menge vom Bausektor aufgenommen wird (FESYP JAHRESBERICHT, 1975/76).

Aufgrund ihrer gegenüber Massivholz günstigeren Eigenschaften wie z.B. Großformatigkeit, bessere Dimensionsstabilität sowie homogenere Festigkeit und rationellere Verarbeitbarkeit fand die Spanplatte in der BRD ihr Haupteinsatzgebiet mit ca. 60 % der Gesamtfertigung im Möbel- und Innenausbau (v. BISMARCK, 1975).

Da der unbeschichteten Spanplatte die für Möbelloberflächen geforderten Eigenschaften fehlen, wie z.B. Feuchtebeständigkeit, Abwaschbarkeit, Härte, Kratzfestigkeit und dekorative Wirkung, veredelt man die Platten durch Kunstharzbeschichtung. Je nach Art der Veredelung werden die Spanplatten im Jahresbericht der FESYP 1976/77 wie folgt eingeteilt:

1. Spanplatten mit gespachtelter Oberfläche
2. Spanplatten mit Grundierfolie
3. Lackierte Spanplatten
4. Spanplatten mit PVC(Polyvinylchlorid)-Oberflächen
5. Spanplatten mit melaminharz-imprägnierten Papieren
6. Spanplatten mit aufgeleimten Schichtpreßstoff-Platten
7. Spanplatten mit Furnieren

Von den 6 125 000 m³ im Jahre 1976 in der BRD produzierten Spanplatten wurden 1 550 000 m³ in Spanplattenwerken einer

Oberflächenveredelung unterzogen. Kennzeichnend für die Situation auf dem Beschichtungssektor ist, daß 1976 von der Gesamtmenge der oberflächenveredelten Spanplatten 79,35 % mit melaminharz-imprägnierten Papieren beschichtet wurden. Das bedeutet im Vergleich zu 1975 einen 23 %-igen Zuwachs (FESYP JAHRESBERICHT, 1976/77).

Wie aus der Literatur bekannt ist, (DEPPE/ERNST, 1967; SCHERFKE/KEHR, 1968; ENZENSBERGER, 1969; PLATH, 1971; DEPPE/ERNST, 1973; REITER, 1975 u.a.), sind an die Spanplatte als Träger für Beschichtungen bestimmte Anforderungen zu stellen. Durch die Beschichtung mit Dünnschichten steigen die Anforderungen an die Oberflächenqualität von Spanplatten weiter an.

Zusammenfassend lassen sich die Anforderungen, die heute in der Literatur und Praxis für Qualitätsspanplatten verlangt werden, wie folgt darstellen: am wichtigsten ist eine geschlossene und ruhige Oberfläche und eine hohe Deckschichtrohdichte. Darüber hinaus ist ein hoher Festharzgehalt der Deckschicht (DS) ebenso erforderlich wie eine hohe Abhebefestigkeit. Zusätzlich sind die Drucksteifigkeit der Mittelschicht (MS) und der pH-Wert der Oberflächenschicht für beschichtungsfähige Platten von Bedeutung.

Zur Erfüllung dieser Anforderungen hat sich in den letzten Jahren der Trend zur Verfeinerung der Spanplattendeckschichten für den Möbelbau weitgehend durchgesetzt. Eine wesentliche wirtschaftliche Zielsetzung liegt in der Einsparung von Beschichtungsmaterial sowohl bei der Flüssigbeschichtung als auch bei der Beschichtung mit melaminharz-imprägnierten Papieren (DEPPE/ERNST, 1973).

Die Deckschichten der Spanplatten, die beschichtet werden sollen, bestehen nicht mehr aus dünnen Flachspänen, sondern aus feinen Partikeln in der Form von Feinstspänen. Um der Forderung nach einer geschlossenen Oberfläche möglichst nahe zu

kommen, werden heute sogar Spanplatten mit Faser- und Staub-deckschichten hergestellt. Überwiegend werden jedoch Feinst-späne für die Deckschichten eingesetzt, da beim Trocknen, Be-leimen und Einstreuen von Faserspänen noch Schwierigkeiten auf-treten (DEPPE/ERNST, 1973; WNUK, 1976).

Was die Holzarten betrifft, so werden heute für die Deckschicht vorwiegend Nadelhölzer d.h. Fichte, Tanne und Kiefer, gelegent-lich aber auch Laubhölzer wie Rotbuche eingesetzt (ANONYMUS, 1977). Es ist aber nicht ausgeschlossen, daß auch andere Holz-arten besonders günstige Eigenschaften für die Deckschicht von Spanplatten aufweisen. Es erscheint also interessant, zu klä-ren, inwieweit Holzarten mit verschiedenen physikalischen, me-chanischen und chemischen Eigenschaften, Deckschichten unter-schiedlicher Qualität ergeben. Für die vorliegende Arbeit wur-den drei Nadelhölzer (Strobe, Tanne, Schwarzkiefer) und vier Laubhölzer (Pappel, Eiche, Rotbuche, Hainbuche) ausgewählt (s. Tab. 1), wobei es auf möglichst große Unterschiede der ein-zelnen Hölzer in bestimmten Eigenschaften ankam, so vor allem hinsichtlich der Rohdichte und der Holzstruktur sowie des Harz-anteils bei Nadel- und des Gerbstoffgehaltes bei Laubhölzern (s. Tab. 2). Im Schrifttum ist keine Arbeit zu finden, die die eingesetzten Holzarten im Detail auf ihre Eigenschaften als Deckschichtmaterial untersucht hat.

Da einerseits die Herstellung der Deckschichtspäne teurer als die der Mittelschichtspäne ist, andererseits um feststellen zu können, wie der unterschiedliche Deckschicht- bzw. Mittelschichtgewichts-anteil die Spanplatteneigenschaften beeinflußt, wurden zwei Deck-schicht-Mittelschicht-Verhältnisse ausgewählt:

1. Deckschichtgewichtsanteil	35 %
Mittelschichtgewichtsanteil	65 %
2. Deckschichtgewichtsanteil	50 %
Mittelschichtgewichtsanteil	50 %

Als weitere Herstellungsvariante wurden die zwei am häufigsten in der Spanplattenindustrie verwendeten Holzarten (Kiefer und Rotbuche) für die Mittelschicht der untersuchten Spanplatten gewählt, um festzustellen, inwieweit sie die verschiedenen Spanplatteneigenschaften unterschiedlich beeinflussen.

Tab. 1 Forstliche Angaben der verwendeten Holzarten

Holzart	Alter (ca. Jahre)	Brusthöhen- durchmesser (ca. cm)	Baumhöhe (ca. m)	Herkunft	Ein- schlags- datum
Holzarten für die Deckschicht					
Strobus (Pinus strobus L.)	60	25	24	Stiftungswald der Lud- wig-Maximilians-Univer- sität München, Distr. Klosterholz, Abt. 8 d	17.09.75
Tanne (Abies alba M.)	60	20	21	Stiftungswald der Lud- wig-Maximilians-Univer- sität München, Distr. Klosterholz, Abt. 6 b	1.09.75
Schwarz- kiefer (Pinus nigra A.)	90	29	20	Forstamt München, Distr. Moosholz, Abt. 6 a	8.10.75
Pappel (Populus robusta S.)	20	29	29	Forstamt Freising, Distr. Hagenau, Abt. 1/1	25.09.75
Eiche (Quercus robur L.)	40	20	19	Stiftungswald der Lud- wig-Maximilians-Univer- sität München, Distr. Klosterholz, Abt. 8 a	25.10.75
Rotbuche (Fagus silvatica L.)	60	28	29	Forstamt Freising, Distr. Grafendorf, Abt. 4 b	3.11.75
Hainbuche (Carpinus betulus L.)	35	19	16	Forstamt Freising, Distr. Hagenau, Abt. 1 b	15.10.75
Holzarten für die Mittelschicht					
Kiefer (Pinus silvestris L.)	40	23	19	Stiftungswald der Lud- wig-Maximilians-Univer- sität München, Distr. Klosterholz, Abt. 5 b	26.11.75
Rotbuche (Fagus silvatica L.)	85	30	28	Forstamt Freising, Distr. Grafendorf, Abt. 4 b	12.11.75

Tab. 2

Die typischen Eigenschaften der verwendeten Holzarten

(nach MAYR, 1894; JANKA, 1915; TRENDLENBURG, 1939; ZANKOFF, 1943; VORREITER, 1949; KOLLMANN, 1955; WAGENFÜR/SCHETTER, 1974)

Holzart	Darrdichte (g/cm ³)		Schwindung in (%) des Grünzustandes.			Härte nach JANKA längs zur Faser (N/mm ²)	Harzanteil (%)	
	Mittelwert	Grenzwerte	Tang.	Rad.	Vol.		Splint	Kern
Nadelhölzer								
Strobe	0,37	0,31-0,46	6,0	2,3	8,5	28,2	3,6	6,7
Tanne	0,41	0,32-0,71	7,6	3,8	11,5	33,8	0,6	1,2
Kiefer	0,49	0,30-0,86	7,7	4,0	12,1	30,0	3,9	5,2
Schwarz- kiefer	0,57	0,48-0,67	8,1	4,4	12,2	34,5	4,0	9,9
Laubhölzer								
Pappel ⁺	0,41	0,37-0,52	8,3	5,2	13,8	32,0	—	
Eiche ^o	0,65	0,39-0,93	7,8	4,0	12,2	65,0	—	
Rotbuche ⁺	0,68	0,49-0,88	11,8	5,8	17,9	78,0	—	
Hainbuche ⁺	0,79	0,50-0,82	11,5	6,8	18,8	88,7	—	

Bemerkung:

Von den Laubhöl-
zern weist Eiche
im Splintholz
ca. 1 % und Kern-
holz 5 - 10 %
Gerbstoffgehalt
auf.

+ zerstreutporig

o ringporig

2. AUSGANGSMATERIAL UND SPÄNEAUFBEREITUNG

2.1. Die verwendeten Holzarten

Für die Deckschicht- und Mittelschicht-Späneaufbereitung wurde pro Holzart ein Baum gefällt. Zur Charakterisierung der verwendeten Holzarten wurde zusätzlich ihre Darrdichte folgenderweise bestimmt: von jedem Stamm wurden Stammscheiben in je 2 m Abstand entnommen und auf ihre ganze Fläche Proben von 2 cm x 2 cm x 2 cm herausgeschnitten. Abgesehen von der Bestimmung des Trockengewichtes der harzreichen Holzarten Strobe, Schwarzkiefer und Kiefer erfolgte die Bestimmung der Rohdichte nach DIN 52182. Da das Darren harzreicher Holzarten zu hohe Rohdichtewerte ergibt (KOLLMANN, 1951; KOLLMANN/HÖCKELE, 1962), wurde folgendermaßen vorgegangen: die Proben zur Bestimmung der Rohdichte der Holzarten Strobe, Schwarzkiefer und Kiefer wurden unter Vakuum in P_2O_5 bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

Die Rohdichtenmittelwerte der Proben aller Scheiben eines Stammes ergab die Rohdichte der jeweils verwendeten Holzart. Wie aus der Tab. 3 zu entnehmen ist, stimmen die Rohdichten der verwendeten Holzarten gut mit den aus der Literatur bekannten Werten überein (s. Tab. 2). Um die Streuung der Rohdichte der verwendeten Holzarten mit denen in der Literatur zu findenden vergleichen zu können, wurden für die verwendeten Holzarten die Häufigkeitsverteilungen dargestellt (s. Abb. 1 bis 4). Die Abb. 1 bis 3 zeigen, daß bei den verwendeten Holzarten der Streubereich der Rohdichte viel kleiner ist als die Häufigkeitsverteilungen aus der Literatur. Die verhältnismäßig geringe Streuung der eigenen Häufigkeitsverteilungen dürfte darauf zurückzuführen sein, daß die Proben nur aus je einem Stamm entnommen wurden.

Aus der Abb. 4 läßt sich der größere Streubereich der Rohdichte von Schwarzkiefer, Kiefer und Hainbuche erkennen. Zwischen der Häufigkeitsverteilung der übrigen Holzarten gibt es keine nennenswerten Unterschiede.

Tab. 3 Die Rohdichte der verwendeten Holzarten

Holzarten für die Deckschicht	Mittelwert (g/cm ³)	Grenzwerte (g/cm ³)	Variationskoeffizient (%)	Zahl der Proben
Strobe	0,34	0,31-0,37	4,75	85
Tanne	0,43	0,37-0,46	10,58	89
Schwarzkiefer	0,52	0,44-0,63	11,10	89
Pappel	0,42	0,37-0,48	6,54	84
Eiche	0,69	0,61-0,75	3,70	57
Rotbuche	0,70	0,63-0,75	3,98	81
Hainbuche	0,78	0,71-0,85	6,50	73
Holzarten für die Mittelschicht				
Kiefer	0,47	0,37-0,53	9,54	101
Rotbuche	0,66	0,61-0,78	5,05	118

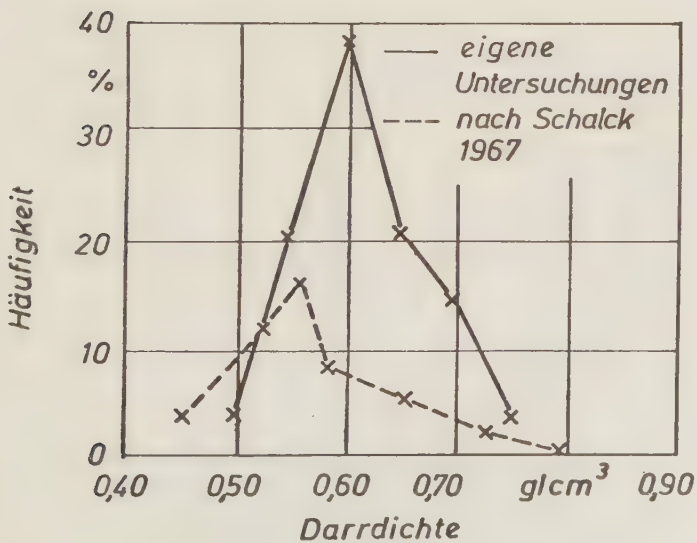
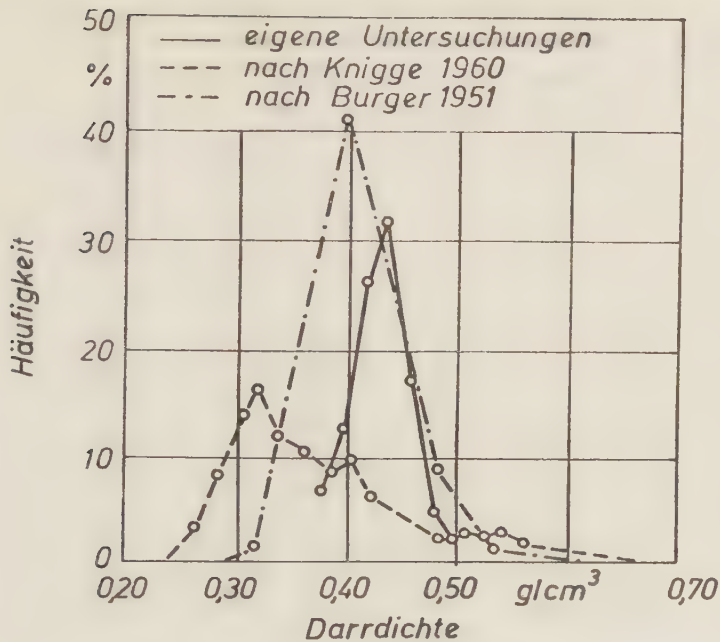


Abb. 1 Häufigkeitsverteilungen der Darrdichte von Tanne (oben) und Schwarzkiefer (unten).

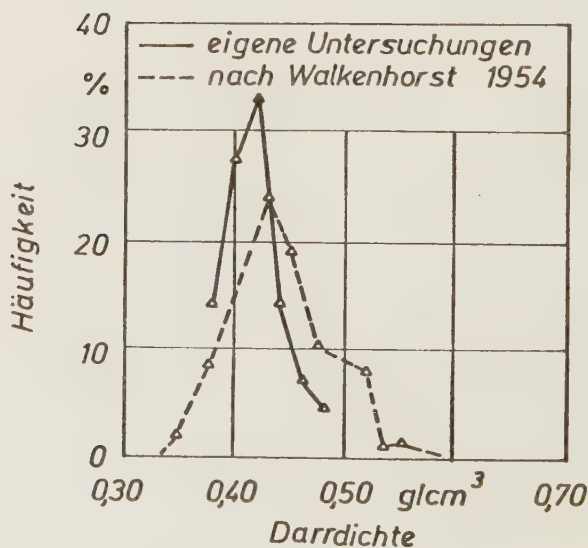
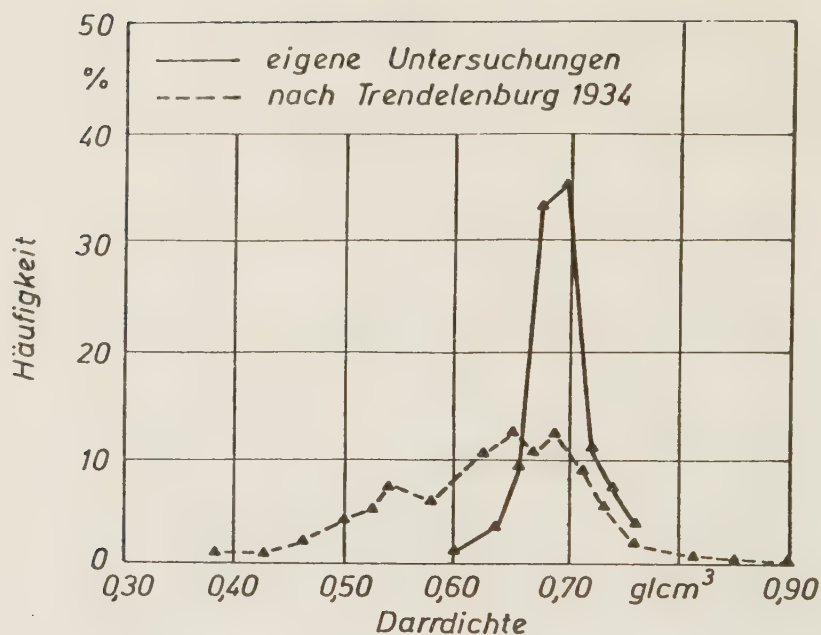


Abb. 2 Häufigkeitsverteilungen der Darrdichte von Eiche (oben) und Pappel (unten)

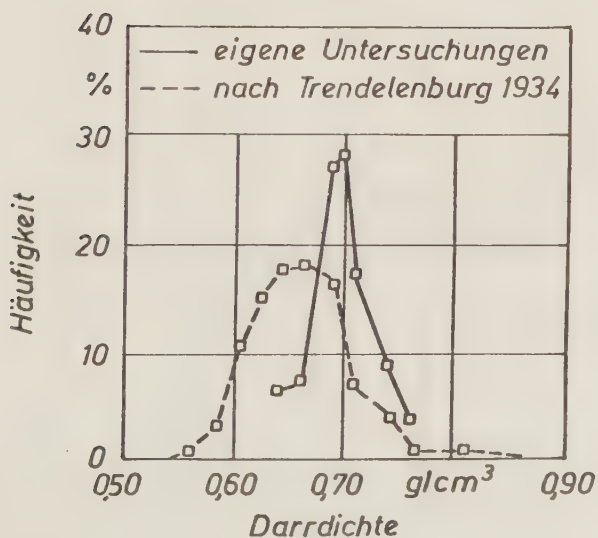
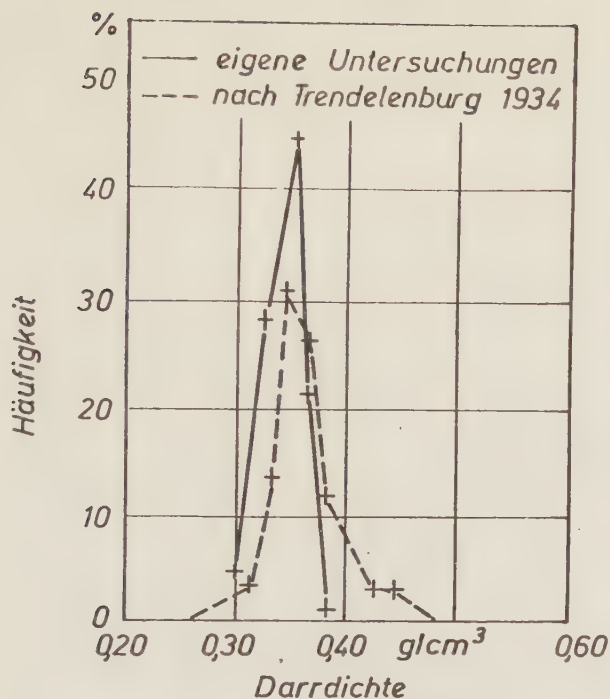


Abb. 3 Häufigkeitsverteilungen der Darrdichte von Strobe (oben) und Rotbuche (unten)

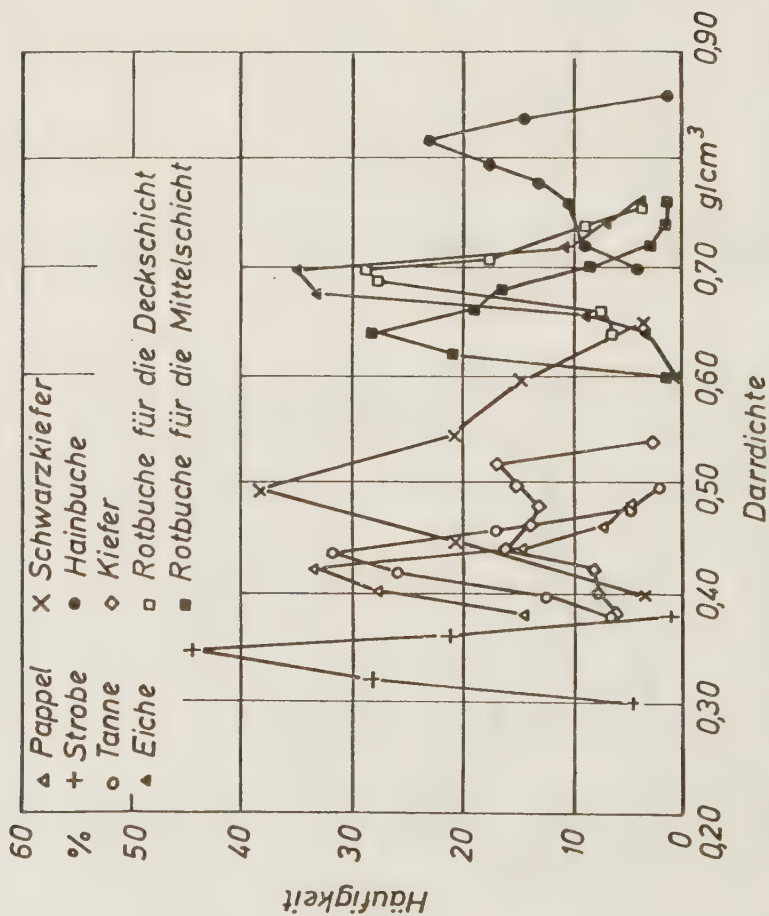


Abb. 4 Häufigkeitsverteilungen der Darrdichte der verwendeten Holzarten

2.2. Späneaufbereitung

Nach dem Fällen der für die Untersuchung ausgewählten Bäume wurden die Stämme in Rollen von 1 m Länge abgelängt und anschließend manuell weiß geschält, um eine Beeinflussung der Ergebnisse durch Rinde auszuschließen. Vor der Zerspanung des Holzes wurden Stammscheiben in je 2 m Abstand zur Feuchtigkeitsbestimmung entnommen. Tab. 4 zeigt, daß der Feuchtigkeitsgehalt (u) der verwendeten Holzarten zwar sehr schwankt, aber für alle Holzarten über 60 % liegt, was für die Herstellung von Qualitätsspänen als optimal angesehen wird (SCHEIBERT, 1958; POPIELARZ, 1965). Vor der Zerspanung wurden die Stammrollen auf ca. 17 cm abgelängt und anschließend parallel zur Faser geviertelt.

Abb. 5 zeigt das Verarbeitungsschema des Stammes einschließlich der Herstellung der MS- und DS-Späne.

2.2.1. Mittelschichtspäne

Die Zerspanung des Holzes wurde auf einem Laborflachscheibenzerspaner (Bezner, Typ R-573) durchgeführt.

Der Schneidmesserüberstand, der die Dicke der Schneidspäne bestimmt, wurde auf 0,55 mm eingestellt, weil diese Dicke dem Durchschnitt der Industriespäne entspricht. Das durch die Zerspanung erzeugte Spänematerial wurde danach in einer Laborhammermühle (Alpine, Typ 40/12) zerkleinert und anschließend in einem Trockner (Kiefortrockner, Typ trockenzepp S 1/63) auf eine Feuchtigkeit von 4 - 6 % getrocknet.

2.2.2. Deckschichtspäne

Die Zerspanung des Holzes für die Deckschicht wurde auf dem Laborscheibenzerspaner (vgl. Abschn. 2.2.1.) mit einem Schneidmesserüberstand von 0,20 mm durchgeführt.

Tab. 4 Feuchtigkeitsgehalt der verwendeten Holzarten
vor der Zerspannung

Holzarten für die Deckschicht	Feuchtigkeitsgehalt (%)		Zahl der Proben
	Mittelwert	Grenzwerte	
Strobe	154	122 - 261	6
Tanne	100	86 - 109	6
Schwarzkiefer	96	70 - 114	6
Pappel	124	105 - 137	6
Eiche	86	79 - 102	5
Rotbuche	80	76 - 81	7
Hainbuche	65	61 - 71	7
Holzarten für die Mittelschicht			
Kiefer	124	110 - 146	10
Rotbuche	82	74 - 85	8

VERARBEITUNGSSCHEMA DES STAMMES

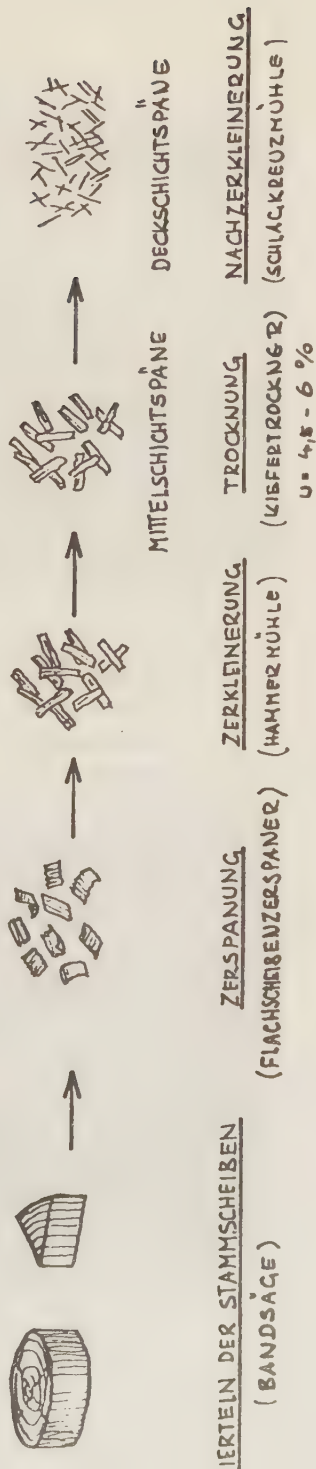
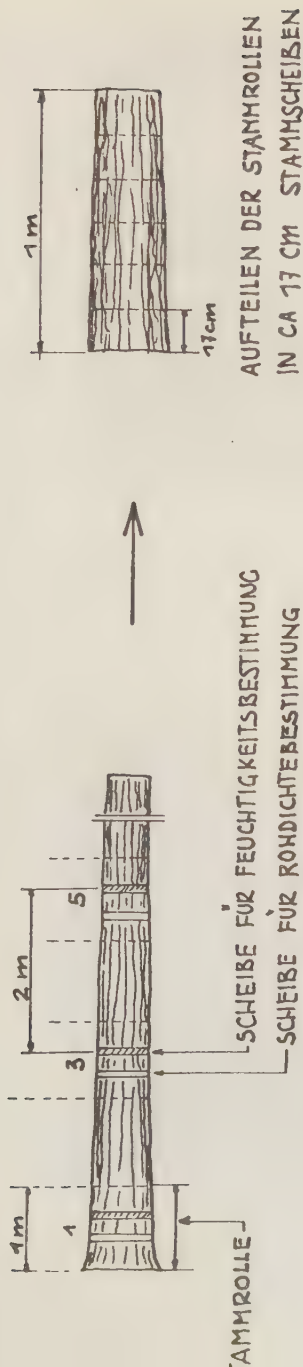


Abb. 5 Verarbeitungsschema des Stammes und Spänaufbereitung

Dieser Schneidmesserüberstand wurde gewählt, weil eine geringe Dicke der DS-Späne ruhige DS-Oberflächen ergibt (POLOVTSEFF, 1962; NEUSSER/KRAMES/ZENTNER, 1969).

Bei der Zerspanung der Holzarten Tanne, Schwarzkiefer, Hainbuche, Eiche und Rotbuche traten keine besonderen Schwierigkeiten auf z.B. (s. Abb. 6 und 7). Dagegen legten sich bei der Zerspanung der Holzarten Strobe und Pappel Faserbündel um die Messerschneide (s. Abb. 8 und 9), während die äußeren Schichten der Holzviertel sich verdichteten und verfilzten (s. Abb. 10 und 11). Diese Erscheinung erschwerte die weitere Zerspanung der Holzviertel. Die Feuchtigkeit des Holzes scheint keine Rolle zu spielen, denn bei einer Feuchtigkeit von 30 % und 120 % trat bei diesen Holzarten die gleiche Erscheinung auf. Die weitere Zerspanung der zwei erwähnten Holzarten wurde nur durch häufigeres Schleifen der Messer ermöglicht. Daß Pappelholz beim Schneiden oder Sägen zur Verfilzung neigt, ist aus mehreren Untersuchungen bekannt, und wird auf das vorhandene Zugholz zurückgeführt (KLAUDITZ/STOLLEY, 1955; MAYER - WEGELIN, 1957; STEGMANN/DURST/KRATZ, 1965; BONNEMANN, 1975).

Die erzeugten Späne von Hainbuche, Rotbuche und Eiche rollten sich wesentlich stärker als die Späne der übrigen Holzarten ein. Diese Erscheinung kann mit ihrer kleineren elastischen Verformbarkeit erklärt werden. Die Herstellung des Spänematerials wurde nach der Zerspanung durch eine Zerkleinerung auf der Laborhammermühle fortgesetzt. Anschließend wurden die Späne auf 4 - 6 % Feuchtigkeit getrocknet. Die weitere Aufbereitung der DS-Späne erfolgte auf einer Laborschlagkreuzmühle (Condux, Typ GSK 35) mit Conidur Siebeinsatz 2,5 mm. Um eine gleichmäßige Beschickung der Schlagkreuzmühle während der Nachzerkleinerung zu ermöglichen, wurde die Zuführung der Späne über eine Vibrationsrinne vorgenommen.

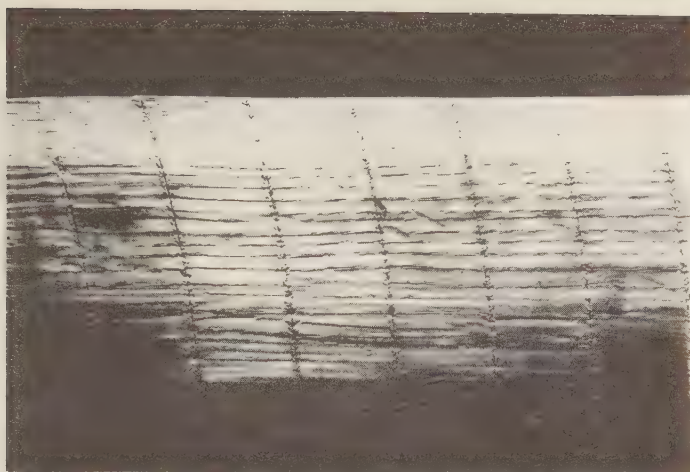


Abb. 6 Schnittfläche von Eiche



Abb. 7 Schnittfläche von Rotbuche



Abb. 8 Messerschneide mit Faserbündeln von Strobe
überzogen

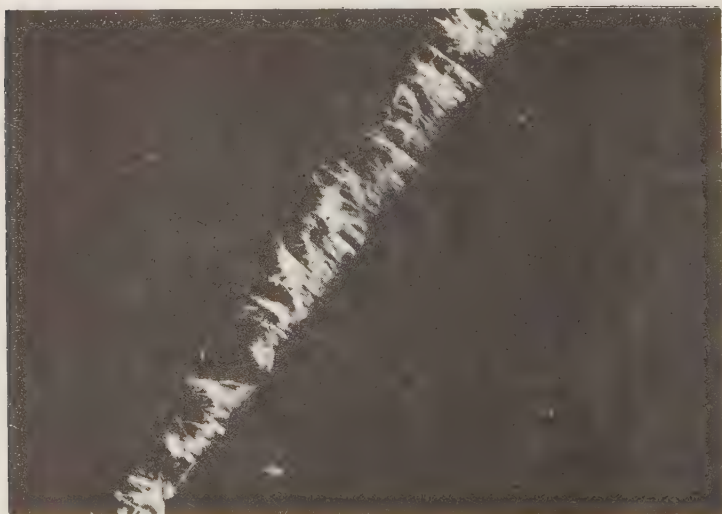


Abb. 9 Messerschneide mit Faserbündeln von
Pappel überzogen



Abb. 10 Strobe. Faserbündel aus der Schnittfläche
herausgerissen

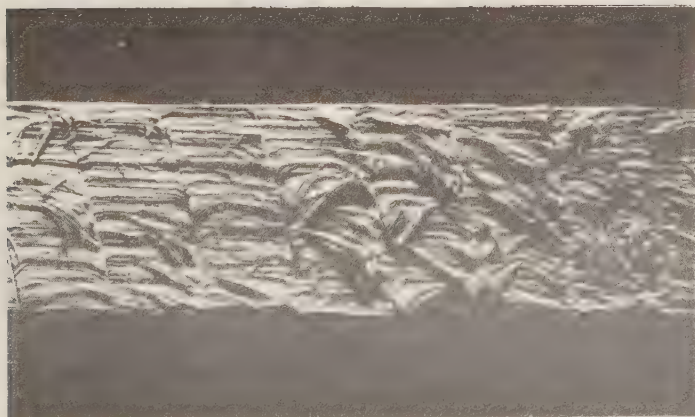


Abb. 11 Pappel. Faserbündel aus der Schnittfläche
herausgerissen

3. CHARAKTERISIERUNG DES VERWENDETEN SPÄNEMATERIALS

3.1. Allgemeines

Die Spanplatteneigenschaften werden unter anderem von den Eigenschaften des verwendeten Spänematerials beeinflusst (KLAUDITZ, 1952; TURNER, 1954; POST, 1958; BRUMBAUGH, 1960; KLAUDITZ/BURO, 1960; KOLLMANN/TEICHGRÄBER, 1962; KEHR/SCHERFKE, 1966; KUSIAN, 1968; MAY/MEHLHORN, 1969; NEUSSER/KRAMES, 1971 u.a.). Daher erfolgte zur Charakterisierung der Späne eine Bestimmung der folgenden Größen: Fraktionszusammensetzung, Spänedimensionen, Schüttgewicht und Kompressibilität. Um Veränderungen der Größen, die während der Beleimung stattfinden, zu erfassen, wurden diese sowohl unbeleimt als auch beleimt gemessen.

3.2. Fraktionierung der Späne

3.2.1. Methode

Die Holzspäne werden vorzugsweise durch Sieben, aber auch durch Wind- und Wurfsichten sortiert. Zur Charakterisierung des bei Versuchen verwendeten Spänematerials wird meistens das Sieben angewendet (KEHR/SCHERFKE, 1963; NEUSSER/KRAMES, 1969). Dabei kennzeichnet man die Fraktionszusammensetzung des Spänematerials durch eine Siebanalyse (DIN 53477), bei der die Späne in Fraktionen aufgeteilt werden. Es sei darauf hingewiesen, daß DIN 53477 keine spezielle Normung der Siebanalyse von Holzspänen darstellt. Eine solche Norm gibt es bisher nicht. Untersuchungen von RACKWITZ (1964) und BREMEN (1964) haben gezeigt, daß ein Sortieren der Späne nach ihrer Fläche (Länge und Breite) mit Siebmaschinen vorteilhafter ist gegenüber einer pneumatischen Sortierung (Wurf- und Windsichtung), denn bei einer Wurfsichtung oder Windsichtung findet ein Sortieren vorwiegend nach der Spandicke und weniger nach der Spanfläche statt.

Da in der vorliegenden Arbeit die Spandicke durch den gleichbleibenden Schneidmesserüberstand während der Zerspanung festgelegt war, wurde eine Siebsichtung zum Sortieren der Späne vorgezogen.

Da bis heute keine einheitliche Methode zur Siebsichtung der Späne existiert, wurde eine eigene Methode in Anlehnung an ZHS 122 (Spanplatten aus Holz, Methoden zur Charakterisierung von Partikelgemischen) angewendet. Die Siebung der Mittelschicht-Späne wurde mit einer Taumelsiebmaschine (Bauart Allgaier, Typ ATS 600/3) durchgeführt.

Weil die Siebzeit, die Spänemenge pro Zeiteinheit, die Zahl und die Maschenweite (MW) der Siebe und die Maschineneinstellung die wichtigsten Parameter jeder Fraktionierung sind, wurde durch Vorversuche der Einfluß dieser Parameter untersucht und auf diese Weise die beste Trennschärfe für die MS-Späne ermittelt.

Es wurden folgende Parameter ausgewählt: Siebzeit 15 min, Gewichtsmenge der Spanprobe pro Siebung 1 500 g, Maschenweite der Prüfsiebe 0,6, 1,0, 2,0, 4,0, 8,0 mm. Die Feuchtigkeit der fraktionierten MS-Späne lag zwischen 4,5 % und 6%. Entsprechend der eingesetzten Siebanzahl wurden sechs Spänefraktionen gebildet.

Für die Siebung der Deckschicht-Späne wurde ein Schüttelapparat verwendet, der einerseits eine bessere Trennschärfe für die DS-Späne im Vergleich zur Taumelsiebmaschine erzielte, andererseits aber nur eine kleinere Spanmenge pro Siebung zuließ. Es handelt sich um einen Schüttelapparat (Bauart Kötterman, Typ 4010), der im Gegensatz zur Taumelsiebmaschine nach dem Prinzip eines Plansiebes arbeitet. Die aufgrund von Vorversuchen ausgewählten Fraktionierungsparameter waren folgende: Siebzeit 10 min, Gewichtsmenge der Spanprobe pro Siebung 100 g, und Maschenweite der Prüfsiebe 0,3, 0,6, 1,0, 1,5 mm, d.h. es wurden fünf Spänefraktionen gebildet. Während der Fraktionierung lag die Spänefeuchtigkeit zwischen 5 und 6%.

Es wurden sowohl für die Mittelschicht-Späne als auch für die Deckschicht-Späne drei Stichproben von jeder Holzart fraktio-

niert, und die prozentualen Gewichtsanteile der einzelnen Spänefraktionen jeweils als Mittel aus drei Siebungen errechnet.

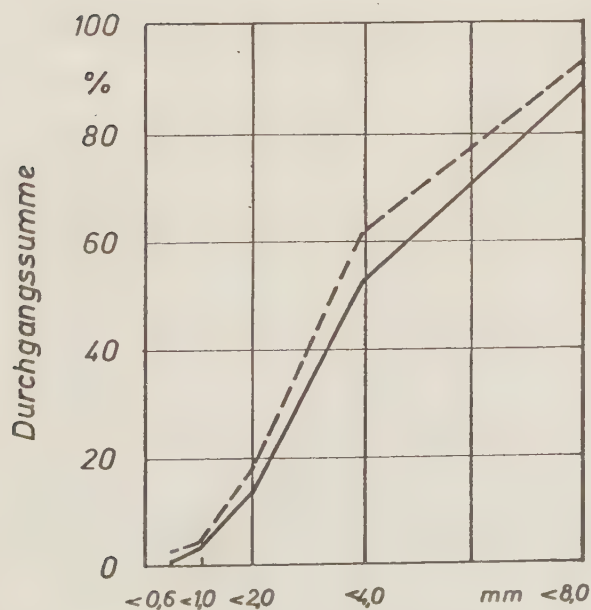
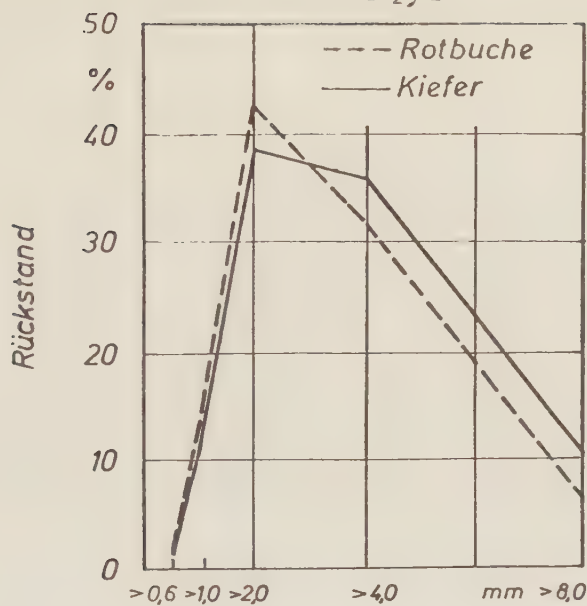
3.2.2. Fraktionsanteile der Mittelschichtspäne

Die Abb. 12 zeigt die relativen Häufigkeiten und die Summenhäufigkeiten der Gewichtsanteile je Spänefraktion für die MS-Späne aus Rotbuche und Kiefer.

Ein Nachzerkleinerungseffekt infolge der Späнемanipulation während der Beleimung konnte nicht beobachtet werden. Daher erfolgte auch keine Fraktionierung der beleimten MS-Späne. Wie aus der Abb. 12 ersichtlich ist, gibt es keinen deutlichen Unterschied zwischen der Fraktionszusammensetzung der MS-Späne aus Kiefer und Rotbuche. Es ist lediglich zu beobachten, daß Rotbuche gegenüber Kiefer bei den Fraktionen $< 2,0$ mm einen geringfügig höheren und bei den Fraktionen $> 4,0$ mm einen geringfügig niedrigeren Gewichtsanteil aufweist. Die Ergebnisse stimmen in etwa mit Untersuchungen von STEGMANN/v.BISMARCK (1967) überein (s. Tab. 5).

Tab. 5 Die prozentualen Gewichtsanteile der Spänefraktionen von Kiefer und Rotbuche nach STEGMANN/v. BISMARCK (1967)

	3,0 mm MW	1,2 mm MW	0,6 mm MW	0,3 mm MW
Kiefer	4	70	20	6
Rotbuche	4	70	20	6



Siebmaschenweite

Abb. 12 Die Fraktionszusammensetzung der Mittelschichtspäne.
Relative Häufigkeiten oben, Summenhäufigkeiten unten.

3.2.3. Fraktionsanteile der Deckschichtspäne

Wie Abb. 13 zeigt, ergeben sich bei den Gewichtsanteilen der Fraktionen $> 1,5 \text{ mm}$, $> 0,6 \text{ mm} < 1,0 \text{ mm}$ und $< 0,3 \text{ mm}$ zwischen den Nadelhölzern (Strobe, Tanne, Schwarzkiefer) unbedeutende Unterschiede. An der Fraktion $> 1,0 \text{ mm} < 1,5 \text{ mm}$ weist die Schwarzkiefer niedrigere und an der Fraktion

$> 0,3 \text{ mm} < 0,6 \text{ mm}$ höhere Gewichtsanteile als Tanne und Strobe auf. Die Fraktionszusammensetzung zwischen Tanne und Strobe zeigt fast keinen Unterschied. Dagegen hat Schwarzkiefer einen größeren Gewichtsanteil an den Fraktionen $< 1,0 \text{ mm}$ gegenüber den anderen Nadelhölzern. Besonders auffällig ist der höhere Gewichtsanteil der Pappel bei den Fraktionen $> 1,5 \text{ mm}$,

$> 1,0 \text{ mm} < 1,5 \text{ mm}$ und der niedrige Gewichtsanteil bei den Fraktionen $< 0,3 \text{ mm}$, $> 0,3 \text{ mm} < 0,6 \text{ mm}$ gegenüber den anderen Laubhölzern. Makroskopische Beobachtungen zeigen deutlich, daß bei dieser Holzart und den Fraktionen $> 1,5 \text{ mm}$ und $> 1,0 \text{ mm} < 1,5 \text{ mm}$ die Spanenden ausgefranst sind (vgl. Abb. 14 u. 15).

Die Späne werden sperrig, ihr Siebverhalten verschlechtert sich, d.h. sie können nicht mehr die Maschenweite passieren, die eigentlich ihrer Fläche entspricht. Die Fraktionszusammensetzung der Hainbuche, Eiche und Rotbuche zeigt geringfügige Unterschiede in ihren Gewichtsanteilen bei den Fraktionen $> 0,3 \text{ mm} < 0,6 \text{ mm}$ und $> 1,5 \text{ mm}$. So hat Hainbuche an der Fraktion $> 1,0 \text{ mm} < 1,5 \text{ mm}$ einen niedrigeren Gewichtsanteil im Vergleich zu Rotbuche und Eiche. Von den drei Laubhölzern Hainbuche, Eiche und Rotbuche weist die Rotbuche an der Fraktion $< 0,3 \text{ mm}$ den höheren und die Eiche den niedrigsten Gewichtsanteil auf. Es ist wahrscheinlich, daß es aufgrund der unterschiedlichen Form und Holzstruktur der Schneidspäne zu verschiedenen langen Verweilzeiten in der Schlagkreuzmühle kommt. Für die gemahlene Laubhölzer kann das bedeuten, daß die Eichenschneidspäne wegen des ringporigen Charakters der Eiche einen kürzeren Mahlprozeß als die Rotbuchen- und Hainbuchenschneidspäne durchmachen.

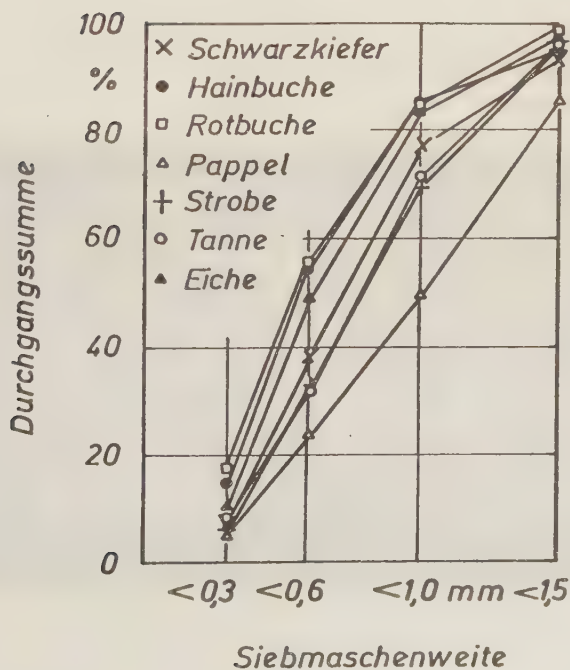
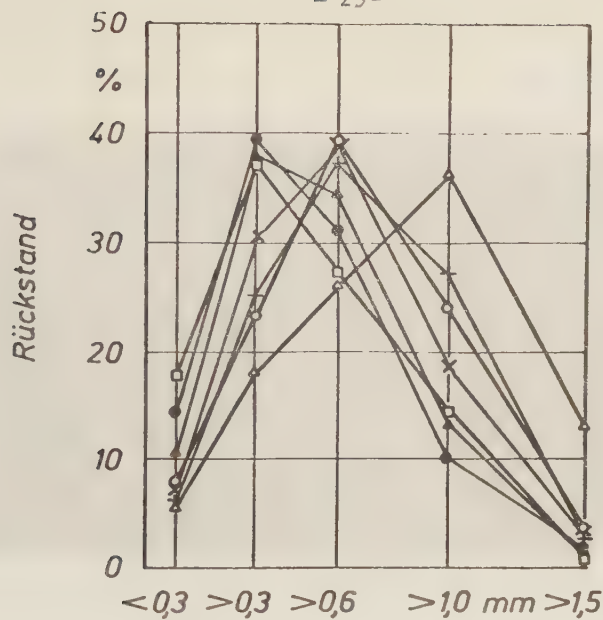


Abb. 13 Die Fraktionszusammensetzung der Deckschichtspäne vor der Beleimung. Relative Häufigkeiten oben, Summenhäufigkeiten unten.

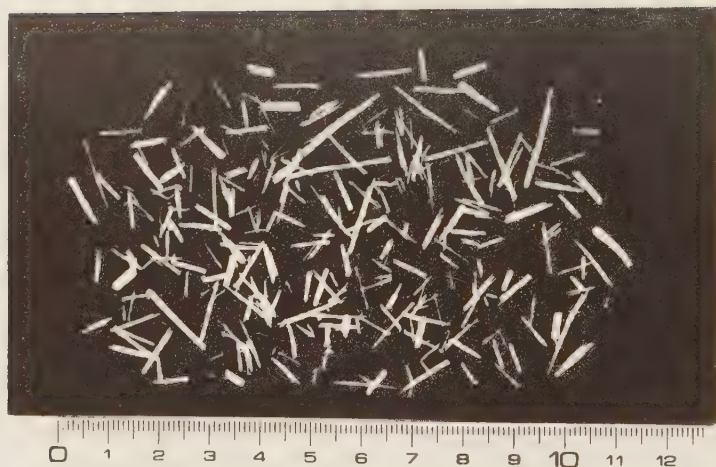


Abb. 14 Deckschichtspäne aus Pappel.

Fraktion $>1,0 \text{ mm} < 1,5 \text{ mm}$

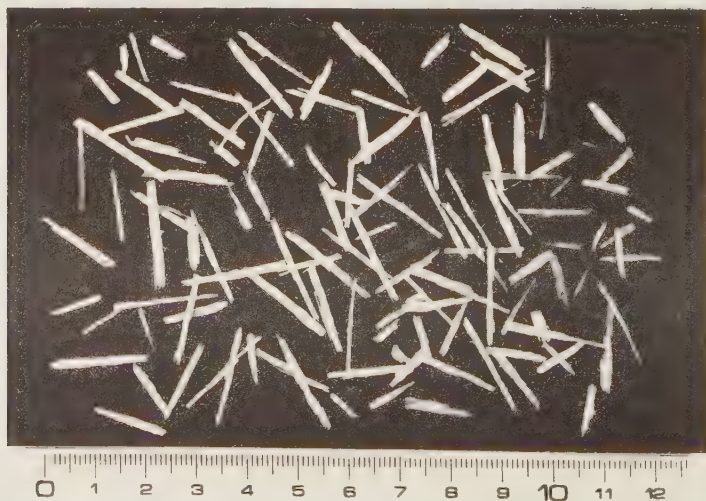


Abb. 15 Deckschichtspäne aus Rotbuche.

Fraktion $>1,0 \text{ mm} < 1,5 \text{ mm}$

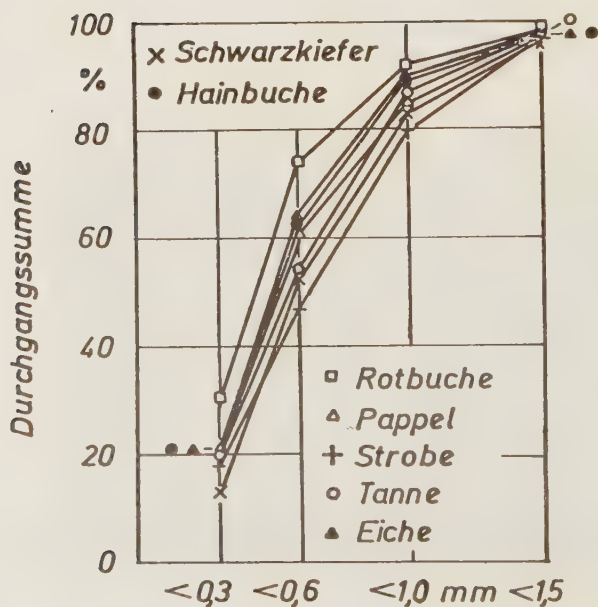
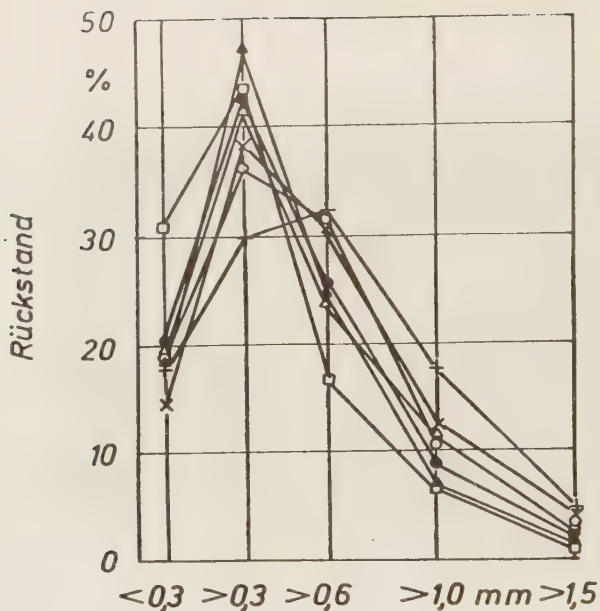
Abgesehen von der Pappel, die den niedrigsten Gewichtsanteil an den Fraktionen $< 1,0 \text{ mm}$ hat, weisen die Laubhölzer Hainbuche, Eiche und Rotbuche an den Fraktionen $> 1,0 \text{ mm} < 1,5 \text{ mm}$ und $> 0,6 \text{ mm} < 1,0 \text{ mm}$ einen niedrigeren und an den Fraktionen $< 0,3 \text{ mm}$ und $> 0,3 \text{ mm} < 0,6 \text{ mm}$ einen höheren Gewichtsanteil als die Nadelhölzer auf. Diese Unterschiede zwischen Laub- und Nadelhölzer sind wahrscheinlich auf die höhere Rohdichte der Laubhölzer (Hainbuche, Eiche und Rotbuche) zurückzuführen.

Da die Beleimung der Deckschicht-Späne mit einer Nachzerkleinerung verbunden war, wurde an den beleimten Spänen eine weitere Fraktionierung der DS-Späne durchgeführt.

Abb. 16 zeigt, daß die vorhandenen Unterschiede der Fraktionszusammensetzung der DS-Späne infolge der Nachzerkleinerung während der Beleimung vermindert wurden, d.h. es kommt zu einer Homogenisierung des Spänematerials. So weist Strobe im Vergleich mit den anderen Holzarten den höchsten Gewichtsanteil an der Fraktion $> 1,0 \text{ mm} < 1,5 \text{ mm}$ und den niedrigsten an der Fraktion $> 0,3 \text{ mm} < 0,6 \text{ mm}$ auf. An der feinsten Fraktion $< 0,3 \text{ mm}$ hat Schwarzkiefer den geringsten Gewichtsanteil. Rotbuche zeigt erstaunlicherweise den nahezu doppelten Gewichtsanteil an der feinsten Fraktion. Dagegen ergibt sich für die Rotbuche an der Fraktion $> 0,6 \text{ mm} < 1,0 \text{ mm}$ der niedrigste Gewichtsanteil von allen Holzarten.

Abb. 17 macht deutlich, daß es bei jeder Holzart zu einer Nachzerkleinerung kommt, die jedoch bei den einzelnen Holzarten ein unterschiedliches Ausmaß annimmt. Besonders fällt bei der

Abb. 17 der große Unterschied zwischen der Fraktionszusammensetzung unbeleimter und beleimter Pappel-Deckschichtspäne auf. Diese Erscheinung ist darauf zurückzuführen, daß die Pappelspäne durch den Beleimungsvorgang teilweise ihren wolligen Spancharakter verlieren, d.h. während der Beleimung werden durch die Nachzerkleinerung von den ausgefranzten Spänen kleine Faserteilchen abgebrochen.



Siebmaschenweite

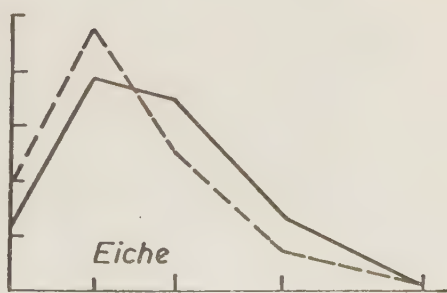
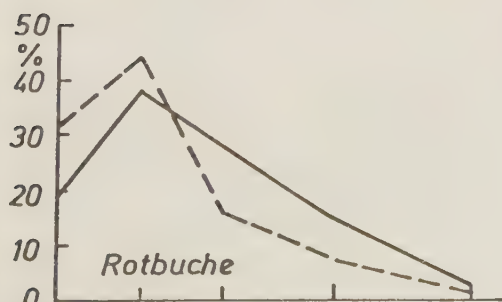
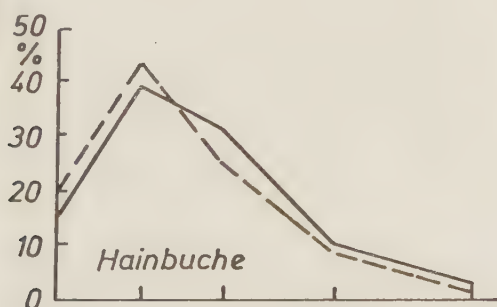
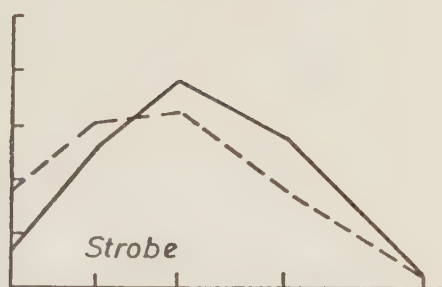
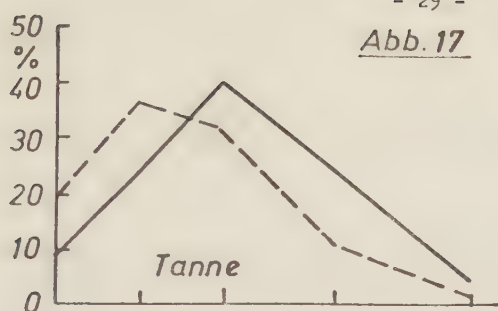
Abb. 16 Die Fraktionszusammensetzung der Deckschichtspäne nach der Beleimung.
Relative Häufigkeiten oben, Summenhäufigkeiten unten.

Abb. 17

Relative Häufigkeit der
Fraktionszusammensetzung
der Deckschichtspäne

— vor der Beleimung
- - - nach der Beleimung

Rückstand



<0,3 >0,3 >0,6 >1,0 mm >1,5 <0,3 >0,3 >0,6 >1,0 mm >1,5
Siebmaschenweite Siebmaschenweite

3.3. Bestimmung der Spandimensionen

3.3.1. Methode

Aus Untersuchungen von KLAUDITZ (1952), TURNER (1954), BRUMBAUGH (1960), RACKWITZ (1963), NEUSSER (1963), KUSIAN (1968), NEUSSER/KRAMES/HAIDINGER/SERENTSCHY (1969), PLATH (1971) u.a. ist der Einfluß der Spandimensionen: Länge (l), Breite (b) und Dicke (d) bzw. der Spandimensionsverhältnisse: Schlankheit ($\frac{l}{d}$), Platttheit ($\frac{b}{d}$) und Breitenverhältnis ($\frac{l}{b}$) auf die mechanischen und physikalischen Eigenschaften der Spanplatten bekannt.

Da die vorliegende Arbeit weder in der Fraktionszusammensetzung der MS-Späne aus Kiefer und Rotbuche hervortretende Unterschiede zeigt (vgl. Abschn. 3.2.2.), noch während der Beleimung ein Nachzerkleinerungseffekt beobachtet werden konnte, wurde auf die Bestimmung der Länge und Breite nach der Beleimung verzichtet. Bei den DS-Spänen der sieben verwendeten Holzarten wurde eine Bestimmung der Länge und Breite durchgeführt, um festzustellen, ob sich einerseits die Späne nach Länge und Breite von Holzart zu Holzart stark voneinander unterscheiden, und andererseits in welchem Ausmaß die Nachzerkleinerung, die während der Beleimung stattfindet, sich unterschiedlich auf Länge und Breite der Späne der einzelnen Holzarten auswirkt.

Zur Bestimmung der Länge und Breite der DS-Späne diente ein Teilchengrößenanalysator nach Ender, (Carl Zeiss, Typ TGZ 3). Das verwendete Gerät ermöglicht die Vermessung einer großen Anzahl von Spänen nach Länge und Breite und ist darüber hinaus dazu geeignet, die Spandimensionen der feineren Fraktionen $< 0,3 \text{ mm}$ und

$< 0,6 \text{ mm}$ durch geeignete Vergrößerung der Photos zu bestimmen.

Bei der Bestimmung von Länge und Breite der DS-Späne wurde wie folgt verfahren: aus jeder Fraktion wurde eine Stichprobe von ca. 300 Spänen gezogen. Die Späne wurden photographiert und die Aufnahmen entsprechend der Meßmöglichkeit des Teilchengrößen-

analysators vergrößert. Dabei lag die Vergrößerung der Späne zwischen 1 : 1 und 1 : 10,6. Die Spandimensionen wurden in 48 Kategorien eingeteilt und von jeder Fraktion die Summenkurve der Spandimensionen mit exponentiell wachsender Schrittweite graphisch dargestellt. Aus der Summenkurve wurde das geometrische Mittel der Spandimension von ca. 300 Spänen jeder Fraktion ermittelt. Das geometrische Mittel jeder Fraktion diente in Kombination mit ihrem prozentualen Gewichtsanteil zur Bestimmung des gewichteten geometrischen Mittelwertes nach folgender Formel (MODLIN/OTLEV, 1975; SACHS, 1974):

$$\bar{x}_g = \frac{x_{g_1} \cdot G_1 + x_{g_2} \cdot G_2 + \dots + x_{g_n} \cdot G_n}{G}$$

$x_{g_1}, x_{g_2} \dots x_{g_n}$: das geometrische Mittel der Spandimension jeder Fraktion

$G_1, G_2 \dots G_n$: der Gewichtsanteil jeder Fraktion

$G = G_1 + G_2 + \dots + G_n$: Gesamtgewicht aller Fraktionen

$\bar{x}_g$: gewichteter geometrischer Mittelwert der Spandimension

Für die Bestimmung der Dicke der MS- und DS-Späne wurden an den Fraktionen $>2 \text{ mm} < 4 \text{ mm}$ bzw. $>0,6 \text{ mm} < 1,0 \text{ mm}$, die am stärksten repräsentiert sind, 200 Späne mit einer Meßuhr (Meßgenauigkeit 0,01 mm) gemessen.

Diese Zahl der Späne ergab für alle Holzarten eine Weite des Vertrauensbereiches der Mittelwerte bis 5 % bei einer statistischen Sicherheit von 95 %. Eine hier unnötig erscheinende Erhöhung der statistischen Sicherheit auf 99 % hätte, wie Vorversuche zeigten, den Stichprobenumfang verdoppelt bis vervierfacht.

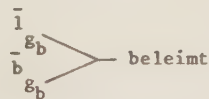
Die Dickenbestimmung erfolgte nur bei unbeleimten Spänen, da bei beleimten eine Ummantelung von Leimtröpfchen in Verbindung mit Staubteilchen die zu bestimmende Größe in einem unbekannten Ausmaß verändert.

3.3.2. Spanlänge und Spanbreite der Deckschichtspäne

Vor der Beleimung weisen die DS-Späne von Rotbuche und Strobe die kleinste Länge auf, während es zwischen den übrigen Holzarten keine bedeutenden Unterschiede gibt (s. Tab. 6). Von der Nachzerkleinerung während der Beleimung ist die Länge der DS-Späne von Tanne und Eiche am stärksten, etwas weniger die der Schwarzkiefer und Pappel und am geringsten die der Strobe und Hainbuche betroffen. Was die Breite anbelangt, so wiesen vor der Beleimung die DS-Späne der Strobe und Schwarzkiefer die größte und die der Rotbuche die kleinste Breite auf. Während der Beleimung wird am stärksten die Breite der Hainbuchen- und Rotbuchen-späne verringert. Die Spananalyse läßt erkennen, daß der Nachzerkleinerungsgrad der DS-Späne während der Beleimung nicht von der Größe der Spandimensionen vor der Beleimung abhängt. Bei allen Holzarten, mit Ausnahme der Hainbuche, bei der der genau umgekehrte Effekt festgestellt wird, zeigt sich, daß die Spanlänge während der Beleimung im Vergleich zur Spanbreite wesentlich stärker abnimmt.

Tab. 6 Spanlänge und Spanbreite der Deckschichtspäne vor und nach der Beleimung und die Dimensionsabnahme in Prozent

Holzart	$\bar{l}_{g_u}$ (mm)	$\bar{l}_{g_b}$ (mm)	$\frac{\bar{l}_{g_u} - \bar{l}_{g_b}}{\bar{l}_{g_b}} \cdot 100$ (%)	$\bar{b}_{g_u}$ (mm)	$\bar{b}_{g_b}$ (mm)	$\frac{\bar{b}_{g_u} - \bar{b}_{g_b}}{\bar{b}_{g_b}} \cdot 100$ (%)
Strobe	3,19	2,97	7,40	0,59	0,57	3,51
Tanne	3,64	2,81	29,54	0,50	0,49	2,04
Schwarz- kiefer	3,52	2,97	18,52	0,55	0,53	3,77
Pappel	3,66	3,09	18,45	0,45	0,43	4,65
Eiche	3,40	2,77	22,74	0,47	0,45	4,44
Rotbuche	2,88	2,49	15,66	0,41	0,36	12,19
Hainbuche	3,76	3,42	9,94	0,49	0,44	11,36



3.3.3. Spandicke der Mittelschicht- und Deckschichtspäne

Bei einem Vergleich der MS-Späne in Tab. 7 fällt auf, daß trotz des gleichen Schneidmesserüberstandes von 0,55 mm die Kiefernspäne dicker und die Rotbuchenspäne dünner als die gewählte Messereinstellung ausfallen. Nach HUNGER (1959) und BUSCHBECK/KEHR/JENSEN (1961) ist die kleinere Dicke der Rotbuchenspäne auf die geringere Stauchung, die die Rotbuchenspäne im Vergleich zu

Kiefernspäne bei der Zerspaltung erfahren, zurückzuführen. Diese Erklärung gilt auch für die größere Dicke der DS-Späne aus Schwarzkiefer im Vergleich zur Dicke der DS-Späne aus den übrigen Holzarten, obwohl alle Holzarten mit dem gleichen Schneidmesserüberstand von 0,20 mm zerspant wurden. Zwischen der Dicke der DS-Späne aus den übrigen Holzarten gibt es keinen Unterschied.

Tab. 7 Dicke der Deckschichtspäne und Mittelschichtspäne vor der Beleimung

	Deckschichtspäne							Mittelschichtspäne	
	Strobe	Tanne	Schwarzkiefer	Pappel	Eiche	Rotbuche	Hainbuche	Kiefer	Rotbuche
$\bar{d}$ (mm)	0,21	0,21	0,23	0,21	0,20	0,21	0,21	0,58	0,51
v	2,86	3,81	3,48	2,39	3,00	2,86	2,40	2,08	2,58
N	200	200	200	200	200	200	200	200	200

3.4. Schüttgewicht der verschiedenen Spanarten

3.4.1. Methode

Das Schüttgewicht, auch als Streudichte bezeichnet, ist eine weitere Größe zur Charakterisierung von spanförmigen und staubartigen Partikeln für die Spanplattenherstellung. Besondere Bedeutung haben die verschiedenen Schüttgewichte beim Lagern und Dosieren der Späne während der Fertigung und beim Verarbeiten verschie-

gener Holzarten im Gemisch. Das Schüttgewicht ist der Quotient aus Masse und Volumen von vereinzelt herabgefallenen und in einer Ebene richtungsunabhängig abgelegten flächigen und länglichen Partikel (ZHS 19/117. Spanplatten aus Holz, Methode zur Bestimmung der Streudichte 1969).

$$S = \frac{m}{V} \quad \left(\frac{g}{cm^3} \right) \quad \text{wobei} \quad \begin{array}{ll} S \text{ (g/cm}^3\text{)} & : \text{ Schüttgewicht} \\ m \text{ (g)} & : \text{ Masse der Füllmenge} \\ V \text{ (cm}^3\text{)} & : \text{ Rauminhalt des Behälters} \end{array}$$

Das Schüttgewicht von Holzspänen wird von ihren Dimensionen, der Beschaffenheit ihrer Oberfläche, der Feuchtigkeit und der Rohdichte des Holzes beeinflusst.

Die Bestimmung des Schüttgewichtes erfolgte durch gleichmäßiges Streuen des Spänenmaterials mit Hilfe einer Vibrationsrinne aus einer Höhe von 30cm in einen Behälter mit 6 Liter Volumen für die MS-Späne und mit 2 Liter Volumen für die DS-Späne. Es wurden pro Holzart für unbeleimte und beleimte Späne jeweils drei Versuche durchgeführt; aus den drei Versuchen wurde dann der Mittelwert $\bar{S}$ nach folgender Formel errechnet:

$$\bar{S} = \frac{\frac{1}{3} \sum_{i=1}^{i=3} m_i}{V}$$

3.4.2. Schüttgewicht der Mittelschichtspäne

Ein Vergleich mit den sich deutlich unterscheidenden Rohdichten der beiden Holzarten läßt ähnliche Differenzen beim Schüttgewicht vermissen (s. Tab. 8). In diesem Fall scheint das Schüttgewicht der Holzart von anderen Einflußfaktoren überlagert zu sein, wie z.B. Form der Späne, Beschaffenheit ihrer Oberfläche und ihre Fraktionszusammensetzung.

Tab. 8 Schüttgewicht unbeleimter und beleimter Mittelschichtspäne (Mittelwerte aus drei Versuchen)

Holzart	S_u (g/cm ³)	S_b (g/cm ³)	r_o (g/cm ³)
Kiefer	0,101	0,105	0,47
Rotbuche	0,108	0,111	0,66
u (%)	5,5	13,2	—

S_u : unbeleimt

S_b : beleimt

3.4.3. Schüttgewicht der Deckschichtspäne

Bei einem Vergleich der Tab. 8 mit der Tab. 9 fällt auf, daß die Unterschiede zwischen dem Schüttgewicht der einzelnen Holzarten bei DS-Spänen im Gegensatz zu den MS-Spänen wesentlich größer sind. Diese Unterschiede dürften überwiegend auf die heterogene Fraktionszusammensetzung der DS-Späne zurückzuführen sein. Aus der Tab. 9 ist ersichtlich, daß nicht nur die Rohdichte der Holzart das Schüttgewicht der DS-Späne bestimmen kann. Es gibt auch andere Faktoren, wie z.B. die Form der Späne, die Beschaffenheit ihrer Oberfläche und ihre Fraktionszusammensetzung, die den Einflußfaktor Rohdichte überlagern können. Ein typisches Beispiel einer solchen Überlagerung der Rohdichte der Holzart zeigt sich beim Schüttgewicht unbeleimter Pappel-DS-Späne, das niedriger ist als das der Strobe. Das ist wahrscheinlich auf den faserigen und wolligen Charakter der Pappelspäne zurückzuführen, die während der Schüttung mehr Volumen beanspruchen. Auch das Schüttgewicht der Eichen-DS-Späne ist höher als das der Hainbuche und Rotbuche, trotz der niedrigeren Rohdichte ihres Vollholzes (s. Tab. 9). Das Ausmaß des Einflusses der erwähnten Faktoren auf das Schüttgewicht bleibt für die meisten Holzarten offen, da im Rahmen dieser Arbeit vertiefende Untersuchungen nicht durchgeführt wurden.

Tab. 9 Schüttgewicht unbeleimter und beleimter Deckschichtspäne (Mittelwerte aus drei Versuchen)

Holzart	S_u (g/cm ³)	S_b (g/cm ³)	r_o (g/cm ³)
Strobe	0,094	0,102	0,34
Tanne	0,106	0,123	0,43
Schwarz- kiefer	0,128	0,133	0,52
Pappel	0,093	0,112	0,42
Eiche	0,180	0,211	0,69
Rotbuche	0,150	0,166	0,70
Hainbuche	0,155	0,168	0,78
u (%)	5,3	17,1	—

S_u : unbeleimt

S_b : beleimt

Wie aus der Literatur hervorgeht (KEHR/SCHILLING, 1965; STEGMANN/v. BISMARCK, 1967), hängt das Schüttgewicht der Späne wesentlich von der jeweiligen Holzrohddichte ab; diese Abhängigkeit wird jedoch vom Einfluß der Spandimensionen, der Spanform, der Oberfläche der Späne u.a. überlagert. So fanden z.B. KEHR/SCHILLING (1965), daß Fichtenspäne ein höheres Schüttgewicht als Kiefernspäne und STEGMANN/v. BISMARCK (1967), daß Rotbuchenspäne ein höheres Schüttgewicht als Hainbuchenspäne haben.

3.5. Kompressibilität

Die Kompressibilität als Kennzahl eines Spangemisches drückt die Verformbarkeit des Spangemisches bei gewähltem Preßdruck aus.

Nach KOLLMANN/CÔTÉ (1968) wird die Kompressibilität nach folgender Formel errechnet:

$$K = \frac{\frac{\Delta V}{V}}{\frac{1}{P} \left(\frac{\text{mm}^2}{\text{N}} \right)} \quad \begin{array}{l} \Delta V : \text{Volumenänderung} \\ V : \text{Anfangsvolumen} \\ P : \text{Druck} \end{array}$$

3.5.1. Methode

Da die Kompressibilität der Späne für die Dicke, die Rohdichte und das Rohdichtenprofil und somit auch mehr oder weniger für die mechanischen und physikalischen Eigenschaften der Spanplatten von Bedeutung ist, wurde in der vorliegenden Arbeit die Kompressibilität der Mittel- und Deckschichtspäne untersucht. Zur Bestimmung der Kompressibilität wurde eine Spanmenge von 400 g in einen zylinderförmigen Behälter aus Metall (Durchmesser 20,6 cm, Höhe 14,7 cm) eingestreut und mit einem Druckstempel verdichtet. Die Versuche erfolgten auf einer Prüfmaschine (Instron, Standmodell TT-D). Bei einer Verdichtungsgeschwindigkeit 10 mm/min wurde das Spangemisch mit einem Druck 1,5 N/mm² zusammengedrückt. Die Berechnung der Kompressibilität erfolgte nach der von KOLLMANN/CÔTÉ (1968) aufgestellten Formel, die oben bereits erwähnt wurde.

3.5.2. Kompressibilität der Mittelschichtspäne

Wie die Tab. 10 zeigt, lassen sich sowohl die unbeleimten als auch die beleimten Rotbuchenspäne leichter komprimieren als die der Kiefer. Diese Ergebnisse stimmen mit Untersuchungen von CHEN (1975) überein. Die in der vorliegenden Arbeit gefundene niedrigere Kompressibilität der Kiefernspäne gegenüber den Rotbuchenspänen dürfte unter anderem mit der größeren Dicke der Kiefernspäne (s. Tab. 7) zu erklären sein. Wie auch aus der Abb. 18 hervorgeht, haben sowohl die unbeleimten als auch die

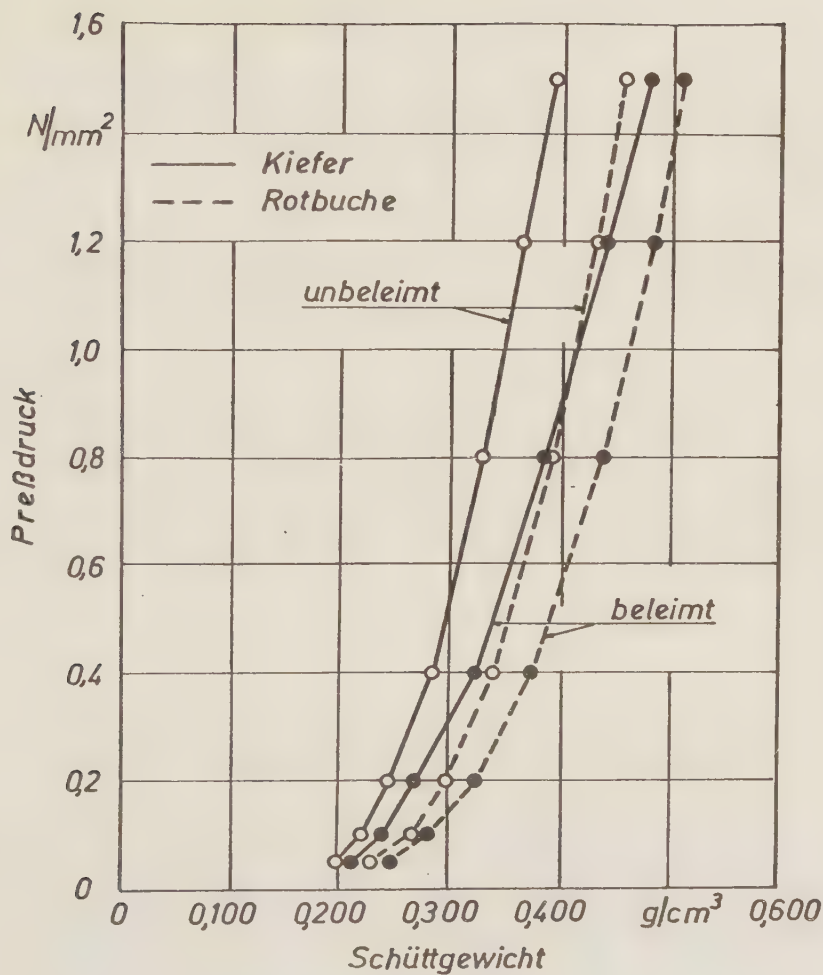


Abb. 18 Verdichtungsverhalten der Mittelschichtspäne
vor und nach der Beleimung in Abhängigkeit
vom Preßdruck.

beleimten Mittelschichtspäne aus Rotbuche während der Kompressibilitätsbestimmung beim Preßdruck $1,5 \text{ N/mm}^2$ ein höheres Schüttgewicht als die entsprechenden Mittelschichtspäne aus Kiefer; darauf kann die leichtere Komprimierbarkeit der Mittelschichtspäne aus Rotbuche zurückzuführen sein.

Tab. 10 Kompressibilität und Schüttgewicht der Mittelschichtspäne (Mittelwerte aus drei Versuchen)

Holzart	K_u (mm^2/N)	S_u (g/cm^3)	K_b (mm^2/N)	S_b (g/cm^3)
Kiefer	0,470	0,101	0,509	0,105
Rotbuche	0,476	0,108	0,512	0,111
u (%)	5,5		13,2	

K_u : unbeleimt

K_b : beleimt

3.5.3. Kompressibilität der Deckschichtspäne

Wie die Tab. 11 zeigt, wird die Kompressibilität nicht nur vom Schüttgewicht der Späne bestimmt. Weitere die Verdichtbarkeit von Spänen beeinflussende Faktoren können die Fraktionszusammensetzung, die Druck- und Biegefestigkeit der einzelnen Späne und die Spandimensionen sein. Eine andere Einflußgröße ist wahrscheinlich die Richtung der Späne in Bezug zur Einstreuebene, da die Querdruckfestigkeit des Holzes im Mittel nur etwa 10 - 20 der Längsdruckfestigkeit erreicht (KNIGGE/SCHULZ, 1966).

Tab. 11 Kompressibilität und Schüttgewicht der Deckschichtspäne (Mittelwerte aus drei Versuchen)

	Strobe	Tanne	Schwarz- kiefer	Pappel	Eiche	Rot- buche	Hain- buche
K_u (mm ² /N)	0,461	0,477	0,451	0,482	0,362	0,430	0,427
S_u (g/cm ³)	0,094	0,106	0,128	0,093	0,180	0,150	0,155
u (%)	5,3						
K_b (mm ² /N)	0,538	0,513	0,531	0,525	0,436	0,479	0,474
S_b (g/cm ³)	0,102	0,123	0,133	0,112	0,211	0,166	0,168
u (%)	17,1						

Allgemein kann man sagen, daß die Kompressibilität der beleimten Deckschichtspäne höher ist als die der unbeleimten (vgl. Abb. 19 u. 20). Der Grund dafür ist die erhöhte Plastizität der beleimten Späne wegen des Leimes und des höheren Feuchtigkeitsgehaltes. Wie aus der Abb. 19 zu entnehmen ist, erreichen die unbeleimten Späne der schweren Holzarten bei einem Preßdruck von 1,5 N/mm² höhere Schüttgewichte. Dies zeigt sich auch bei den beleimten Spänen, wobei hier erstaunlicherweise die der Schwarzkiefer das höchste Schüttgewicht aufweisen (s. Abb. 20).

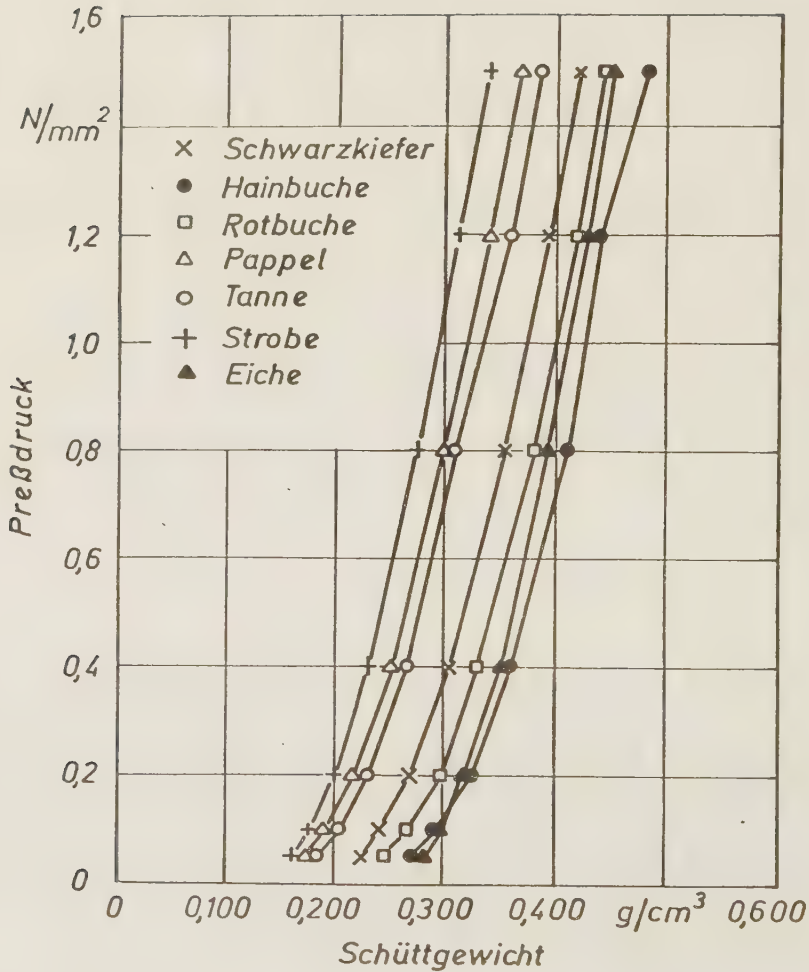


Abb. 19 Verdichtungsverhalten der Deckschichtspäne vor
der Beileimung in Abhängigkeit vom Preßdruck.

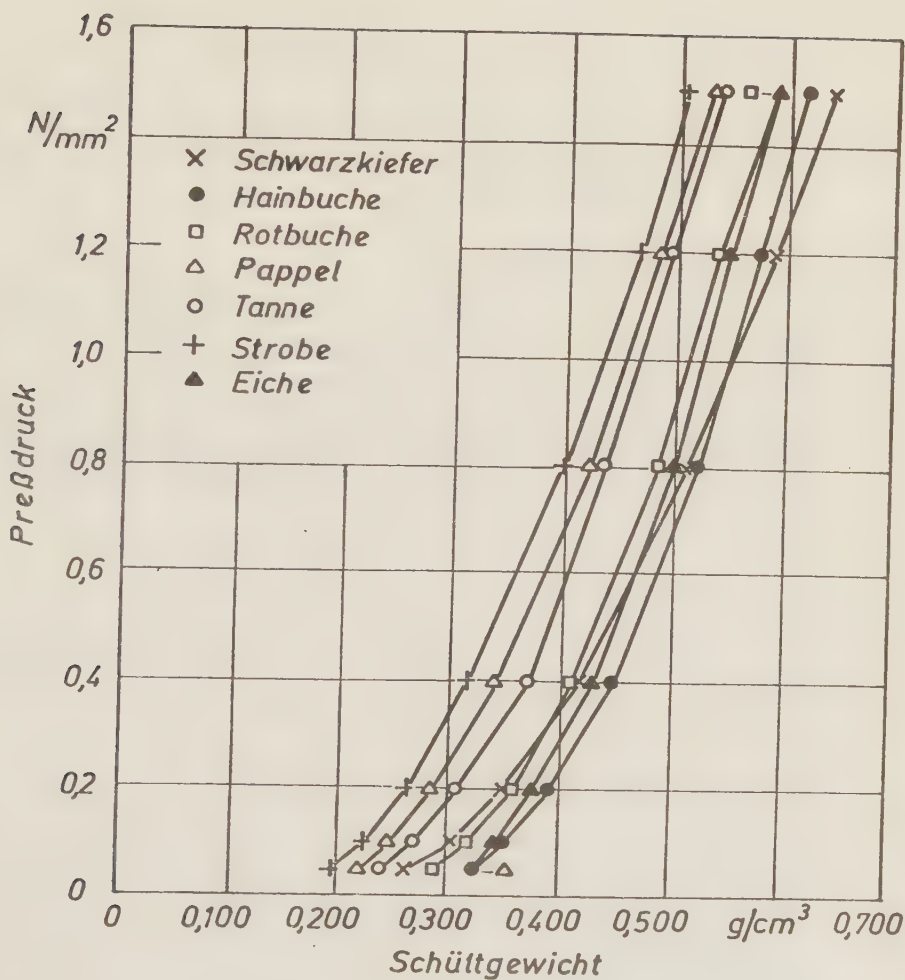


Abb. 20 Verdrichtungsverhalten der Deckschichtspäne nach der Beleimung in Abhängigkeit vom Preßdruck.

4. HERSTELLUNG DER DREISCHICHTIGEN SPANPLATTEN

In der vorliegenden Arbeit wurden dreischichtige Spanplatten mit einem Plattenformat 700 mm x 400 mm x 20 mm und einer Rohdichte von 0,70 g/cm³ hergestellt.

4.1. Die Spanplattenarten

Aus den gewählten drei Variantengruppen, die sich aus sieben Holzarten für die Deckschicht, zwei Deckschicht-Mittelschicht-Verhältnisse und zwei Holzarten für die Mittelschicht (vgl. Kap. 1.), d.h. aus 11 Herstellungsverfahren zusammensetzen, ergaben sich folglich 28 ($7 \times 2 \times 2 = 28$) Spanplattenarten (s. Tab. 12). Von diesen wurden je drei Spanplatten, also insgesamt 84 Spanplatten hergestellt.

4.2. Beleimung

Der Vorgang des Beleimens von Holzspänen ist wegen seines Einflusses auf die Beleimungskosten und die Spanplatteneigenschaften ein wichtiger Verfahrensschritt bei der Spanplatten-Herstellung.

4.2.1. Beleimung der Mittelschichtspäne

Die Beleimung der Mittelschichtspäne erfolgte in einem Labormischer (Bauart Drais, Typ FSP, Volumen 110 Liter), der nach dem Sprüh-Umwälz-Verfahren arbeitet. Als Bindemittel wurde Harnstoff-Formaldehydharz (Kaurit 385 BASF) verwendet. Der Festharzanteil, bezogen auf die Spanmenge, war 8 %. Die Beleimungszeit betrug 5 min, die Drehzahl der Mischwerkzeuge 180 U/min und die Spanmenge pro Beleimung 4 400 g an Spänen. Die MS-Späne hatten 4,5 - 6 % Feuchtigkeit vor und 13 - 14 % Feuchtigkeit nach der Beleimung. Es wurde sowohl bei der Beleimung der DS- als auch der MS-Späne kein Hydrophobierungsmittel verwendet, um die spezifischen Eigenschaften der verwendeten Holzarten nicht zu verwischen.

Tab. 12 Verwendete Holzarten für die Versuchsspanplatten und der Anteil der
der Deckschicht sowie der Mittelschicht an der Gesamtmasse der
Spanplatten

Spanplatten- arten	Holzart		Anteil (%)	
	der Deckschicht	der Mittelschicht	der Deckschicht	der Mittelschicht
1	Strobe	Kiefer	35	65
2	Strobe	Kiefer	50	50
3	Strobe	Rotbuche	35	65
4	Strobe	Rotbuche	50	50
5	Tanne	Kiefer	35	65
6	Tanne	Kiefer	50	50
7	Tanne	Rotbuche	35	65
8	Tanne	Rotbuche	50	50
9	Schwarzkiefer	Kiefer	35	65
10	Schwarzkiefer	Kiefer	50	50
11	Schwarzkiefer	Rotbuche	35	65
12	Schwarzkiefer	Rotbuche	50	50
13	Pappel	Kiefer	35	65
14	Pappel	Kiefer	50	50
15	Pappel	Rotbuche	35	65
16	Pappel	Rotbuche	50	50
17	Eiche	Kiefer	35	65
18	Eiche	Kiefer	50	50
19	Eiche	Rotbuche	35	65
20	Eiche	Rotbuche	50	50
21	Rotbuche	Kiefer	35	65
22	Rotbuche	Kiefer	50	50
23	Rotbuche	Rotbuche	35	65
24	Rotbuche	Rotbuche	50	50
25	Hainbuche	Kiefer	35	65
26	Hainbuche	Kiefer	50	50
27	Hainbuche	Rotbuche	35	65
28	Hainbuche	Rotbuche	50	50

4.2.2. Beleimung der Deckschichtspäne

Die Beleimung der DS-Späne wurde mit einem Schnellmischer (Bauart Pappenmeier, Typ TGHK 20, Volumen 20 Liter) durchgeführt, der dafür geeignet ist, wie frühere Beleimungsversuche gezeigt haben (TRÖGER/GRIGORIOU, 1976).⁺

Der Mischbehälter (s. Abb. 21) hat eine konische, sich nach oben verjüngende Form. Die Wand des Mischbehälters ist als Heiz- und Kühlmantel ausgebildet. Die Mischwerkzeuge bestehen aus einem Schaufelteller mit drei Schaufeln und einem ringförmigen Mischwerkzeug (s. Abb. 22). Um das Volumen des Mixers zu erhöhen und den Späneumlauf beobachten zu können, wurde der Mischer mit einem Holzdeckel ausgerüstet, der den Behälterinnenraum um 6,3 Liter erhöht und dessen kreisförmige Öffnung nach oben mit einer Plexiglasscheibe abgedeckt ist (s. Abb. 21). Der Leim wurde dem Mischer in Form eines etwa 2 mm dicken Strahls mit 2 at Druck zugeführt. Als Bindemittel wurde Harnstoff-Formaldehydharz (Kaurit 385 BASF) verwendet. Der Festharzanteil, bezogen auf atro Spanmenge, betrug 12 %.

Es wurde mit folgenden Beleimungsbedingungen gearbeitet:

Beleimungszeit: 5 min

Drehzahl der Mischwerkzeuge: 800 U/min

Spanmenge pro Beleimung: 1 300 g atro Späne

Die DS-Späne hatten 5 - 6 % Feuchtigkeit vor und 17 - 18 % Feuchtigkeit nach der Beleimung.

Der Füllungsgrad des Mixers schwankte je nach Schüttgewicht der DS-Späne der entsprechenden Holzart (s. Tab. 13).

⁺ Dem Forschungsinstitut für Misch- und Rührtechnik, 4937 Lage, sei an dieser Stelle für den großzügig zur Verfügung gestellten Mischer gedankt.

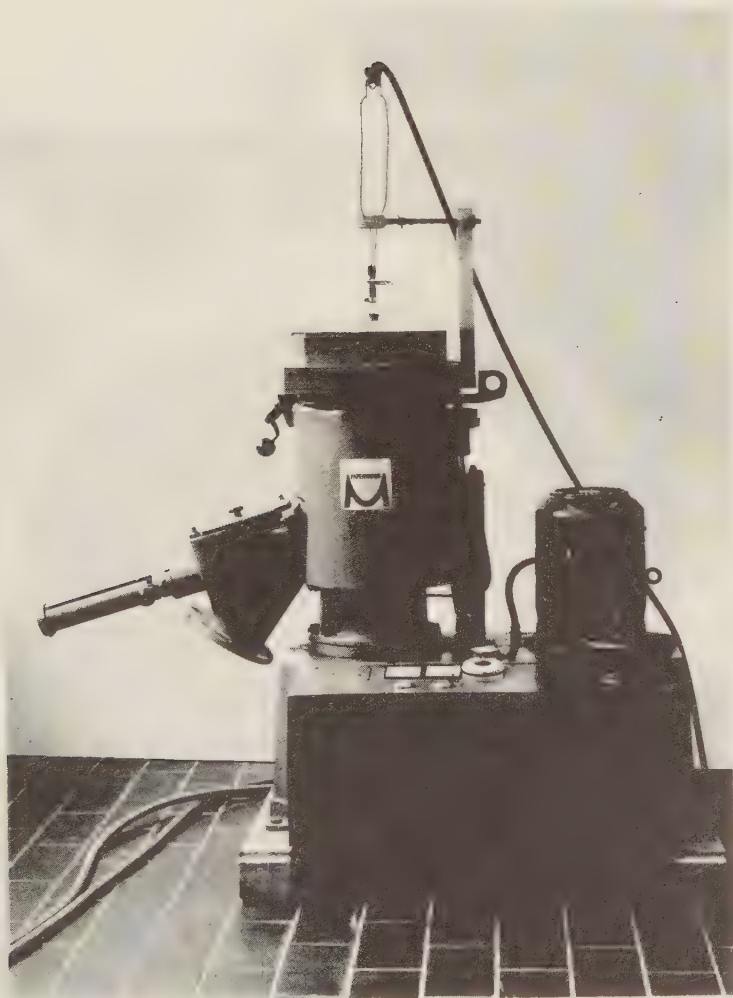


Abb. 21 Mischer mit selbstgebaurem Deckel

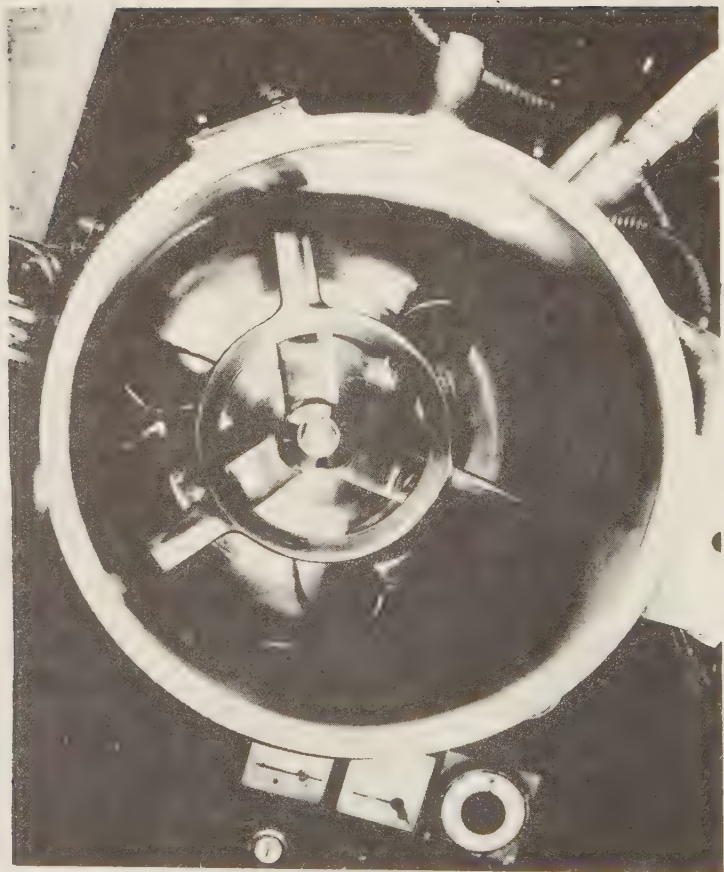


Abb. 22 Mischbehälterraum mit Mischwerkzeugen

Tab. 13 Füllungsgrad des Mischers der sieben Holzarten im Vergleich mit Rohdichte und Schüttgewicht

	Strobe	Tanne	Schwarz- kiefer	Pappel	Eiche	Rot- buche	Hain- buche
Füllungsgrad (%)	73	65	54	74	38	46	44
Schüttgewicht (g/cm ³)	0,094	0,106	0,128	0,093	0,180	0,150	0,155
Rohdichte (g/cm ³)	0,34	0,43	0,52	0,42	0,69	0,70	0,78

Während der Beleimung der DS-Späne aus den sieben Holzarten ließen sich folgende Erscheinungen beobachten:

Die DS-Späne aus Tanne, Pappel und Strobe steigen während der Beleimung fast bis zum Deckel an und werden dort teilweise in einer für die Beleimung günstigen trombenförmigen Umwälzung abgebremst, wodurch die Umwälzungsgeschwindigkeit im oberen Teil des Mischers verringert wird. Diese ungünstigen Beleimungsbedingungen verbessern sich erst nach der Zugabe der gesamten Leimmenge, denn dadurch wird das Schüttgewicht der Späne erhöht bzw. der Füllungsgrad des Mischers herabgesetzt (s. Tab. 13). Im Gegensatz dazu wird das Spänematerial aus Hainbuche, Eiche und Rotbuche zügig trombenförmig bewegt und es läßt sich sowohl vor als auch nach der Leimzugabe eine gute Späneumwälzung beobachten. Diese besseren Mischungsverhältnisse sind hauptsächlich auf den geringeren Füllungsgrad des Mischers der schweren, gegenüber den leichteren Holzarten zurückzuführen (s. Tab. 13). Zur allgemeinen Erklärung dieses Unterschiedes könnte man sagen:

Spänematerial niedrigen Schüttgewichtes weist während der Be-
leimung eine verminderte kreis- und trombenförmige Bewegung
auf. Dadurch wird die Leimverteilung, die bei diesem Schnell-
mischer und der gewählten Leimzuführung allein durch die Über-
tragung von Span zu Span erfolgt (sogenannter Wischeffekt), ge-
genüber einem Spänematerial mit höherem Schüttgewicht beein-
trächtigt.

4.3. Pressen

Das Heißpressen bildet bei der Spanplattenherstellung die Ar-
beitsphase, in der die getrockneten, mit Leim versetzten und
zu einer Spanmatte gestreuten Späne zu einer Spanplatte ver-
dichtet werden. Im Spanplattenfertigungsprozeß kommt dem Preß-
vorgang eine zentrale Bedeutung zu, da durch die Heißpressung
die Plattenqualität im wesentlichen festgelegt wird. So werden
überwiegend die Rohdichte, das Rohdichteprofil und die Dicke
der Deck- und Mittelschicht, aber auch die mechanischen und
physikalischen Eigenschaften als Folge der Gefügefestigkeit
durch das heiße Verdichten beeinflusst (DEPPE/ERNST, 1964;
KEHR/SCHÖLZEL, 1967; LIIRI, 1969; MAY/MEHLHORN, 1969;
v. BISMARCK, 1974).

4.3.1. Preßbedingungen

Die Spanplatten wurden auf einer Laborpresse (Bauart Siempel-
kamp, Typ Sonderausfertigung) nach folgenden Bedingungen her-
gestellt:

Preßtemperatur	155° C
Preßzeit	8 min
Preßdruck	3,0 N/mm ²
Schließgeschwindigkeit	1 000 mm/min

4.3.2. Verdichtungsgeschwindigkeit

Als Verdichtungsgeschwindigkeit bezeichnet man die Geschwindigkeit, mit der sich die bewegliche Heizplatte der feststehenden während der Spanmattenverdichtung nähert, d.h. sie beginnt bei Anstieg des Gegendruckes und endet bei Erreichen der Distanzleisten.

Wie die Tab. 14 zeigt, beeinflussen die Deckschichten der verschiedenen Holzarten die Verdichtungsgeschwindigkeit. Höhere Verdichtungsgeschwindigkeiten weisen die Spanmatten aus den leichteren Holzarten (Strobe, Schwarzkiefer, Pappel und Tanne) und niedrigere die aus den schweren Holzarten (Eiche, Hainbuche und Rotbuche) auf. Diese Ergebnisse stimmen gut mit den Kompressibilitätswerten von beleimten DS-Spänen überein (s. Tab. 11). Wie bei der Kompressibilitätsbestimmung, zeigt sich auch bei der Untersuchung der Verdichtungsgeschwindigkeit, daß von den drei untersuchten Nadelhölzern die Strobe und die Schwarzkiefer höhere Werte als die Tanne aufweisen. Es wird angenommen, daß der hohe Harzanteil der Holzarten Strobe und Schwarzkiefer (s. Tab. 2) zu einer höheren Verdichtungsgeschwindigkeit beiträgt.

Bezüglich des Einflusses des DS- bzw. MS-Anteils, damit ist der Gewichtsanteil der DS bzw. der MS gemeint, gibt es keinen statistisch gesicherten Unterschied, abgesehen von vereinzelt gesicherten Unterschieden einiger Spanmatten.

Sehr eindeutig, nämlich mit 99 % statistischer Sicherheit, unterscheiden sich die Verdichtungsgeschwindigkeiten zwischen den Spanmatten, deren Mittelschicht einerseits aus Kiefer und andererseits aus Rotbuche bestehen; dabei weist Rotbuche eine höhere Verdichtungsgeschwindigkeit als Kiefer auf. Diese Messungen stehen in Übereinstimmung mit den Kompressibilitätswerten (vgl. Tab. 10).

Tab. 14 Verdichtungsgeschwindigkeit (mm/min) beim Pressen
der Spanmatten

Holzart der DS Holzart und Anteil der MS		Strobe	Tanne	Schwarz- kiefer	Pappel	Eiche	Rot- buche	Hain- buche
Ki ₆₅	$\bar{x}$	105	78	103	100	70	76	78
	v	8,14	2,75	11,20	5,82	13,97	3,89	9,31
	N	3	3	3	3	3	3	3
Ki ₅₀	$\bar{x}$	115	86	115	103	69	81	78
	v	6,40	14,33	5,23	5,93	5,34	7,60	7,59
	N	3	3	3	3	3	3	3
Bu ₆₅	$\bar{x}$	132	117	130	123	87	98	102
	v	4,24	4,44	3,82	1,97	3,36	3,37	7,36
	N	3	3	3	3	3	3	3
Bu ₅₀	$\bar{x}$	142	131	132	123	91	111	108
	v	5,12	4,23	1,69	5,70	7,09	2,98	7,60
	N	3	3	3	3	3	3	3

4.4. Klimatisieren und Schleifen der Spanplatten

Nach Verlassen der Presse wurden die Spanplatten zur Abkühlung und zum Ausgleich der Temperatur zwischen Deck- und Mittelschichten zwei Tage lang im Laborraum freistehend gelagert. Danach wurden die Platten auf ein Format von 650 mm x 360 mm besäumt und anschließend zur Klimatisierung bei 20° C Temperatur und 65 % relativer Luftfeuchte (20/65) in einem Normalklimaraum gestapelt.

Da nach dem Pressen einerseits zwischen den einzelnen Spanplattenschichten (KEHR/GRABITZKI, 1965), andererseits zwischen Spanplattenrändern und der Spanplattenmitte (DEPPE/ERNST, 1964), Feuchtigkeitsunterschiede auftreten, wurden die Spanplatten ca. einen Monat lang im Normalklima klimatisiert. Das Schleifen erfolgte in einer Zwei-Zylinder-Schleifmaschine (Bauart Carstens, Typ 308/13912).

Die Spanplatten wurden bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 7 m/min mit 80-er Körnung des Schleifbandes für den ersten und 100-er Körnung für den zweiten Zylinder geschliffen. Von jeder Spanplattenseite wurden in zwei Schleifvorgängen eine Schicht 0,7 mm abgeschliffen. Da die Körnung des Schleifpapiers und sein Abnutzungszustand einen großen Einfluß auf die Oberflächenrauheit haben, wie eigene Vorversuche, Untersuchungen von DEPPE/ERNST (1964) und KEHR/JENSEN (1970) nachweisen konnten, wurde versucht, eine unterschiedliche Bearbeitung der Oberflächen der verschiedenen Spanplattenarten zu vermeiden. Es wurde daher während des Schleifens wie folgt verfahren:

Zunächst wurden neue Schleifpapiere eingespannt. Auf der einen Hälfte der Schleifzylinderbreite wurden zuerst die oberen und dann die unteren Seiten der Spanplatten mit einem DS Anteil von 35 % und einer Kiefer-MS mit 65 % Anteil (DS₃₅/Ki₆₅) nach der angegebenen Reihenfolge geschliffen:

Die Reihenfolge der 21 Spanplat- ten mit DS ₃₅ /Ki ₆₅ während des Schleifens	1	2	3	4	5	6	7	7*	6	5	4	3	2	1	7*	6*	5*	4*	1*	2*	3*
--	---	---	---	---	---	---	---	----	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----

Die Zahlen 1 bis 7 bezeichnen die Deckschicht-Holzarten der Span-

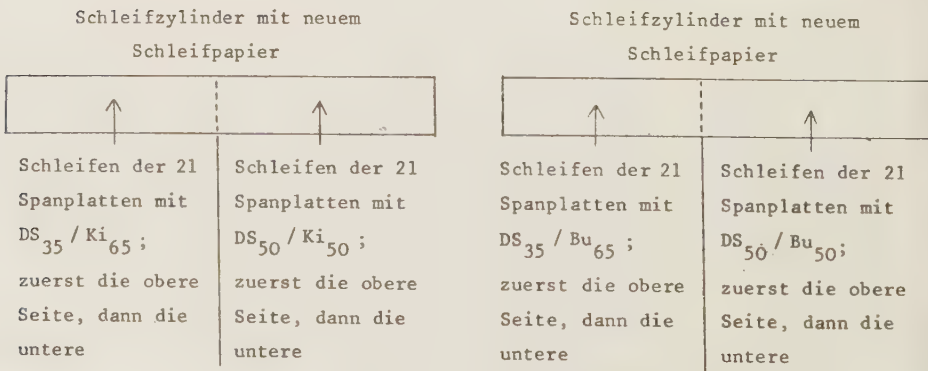
platten mit DS_{35}/Ki_{65} , wobei 1 Eiche, 2 Schwarzkiefer, 3 Hainbuche, 4 Tanne, 5 Strobe, 6 Rotbuche und 7 Pappel bedeuten, und die Indexe am folgenden Beispiel erklärt werden.

$1'$, $1''$, $1'''$, sind drei gleiche Spanplatten der Spanplattenart mit Eichen-DS, Kiefern-MS und einem DS-MS-Verhältnis von 35 % : 65 % (Ei_{35}/Ki_{65}), von denen pro Eigenschaft ein Mittelwert gebildet wurde.

Anschließend wurden auf der nicht gebrauchten Hälfte des Schleifzylinders nach der oben angeführten Reihenfolge die 21 Spanplatten mit 50 % Deckschicht-Anteil und Kiefer als Mittelschicht mit 50 % Anteil (DS_{50}/Ki_{50}) geschliffen.

Für das Schleifen der Spanplatten mit 35 % Deckschicht-Anteil und Rotbuche als Mittelschicht mit 65 % Anteil (DS_{35}/Bu_{65}) und der Spanplatten mit 50 % Deckschicht-Anteil und Rotbuche als Mittelschicht mit 50 % Anteil (DS_{50}/Bu_{50}) wurden neue Schleifpapiere eingespannt und die verschiedenen Spanplatten - wie oben beschrieben - geschliffen.

Abb. 23 Skizze zur Reihenfolge des Schleifens der Spanplatten



5. UNTERSUCHUNG DER EIGENSCHAFTEN DER DREISCHICHTIGEN SPANPLATTEN

5.1. Probenentnahme

Die Proben wurden entsprechend dem Zuschnittplan Abb. 24 aus den Spanplatten entnommen und danach im Normalklima 20/65 DIN 50014 bis zur Gewichtskonstanz gelagert.

Schlüssel für die im Zuschnittplan verwendeten Abkürzungen:

B	Biegefestigkeit
Q	Querzugfestigkeit
A	Abhebefestigkeit
W	Wasseraufnahme durch die Oberfläche mit abgedichteten Querschnittsflächen
GS	Feuchtigkeits- bzw. Dickenänderung des gesamten Spanplattenquerschnitts im Feuchtklima mit 20 °C Temperatur und 90 % relativer Luftfeuchte (20/90)
MS	Feuchtigkeits- bzw. Dickenänderung der Mittelschicht im Feuchtklima (20/90)
DS	Feuchtigkeits- bzw. Dickenänderung der Deckschicht im Feuchtklima (20/90)
G	Rohdichte des gesamten Spanplattenquerschnitts und der Mittelschicht
D	Rohdichte der Deckschicht
O	Oberflächenrauheit
U	Plattenfeuchtigkeitsprüfung
R	Restproben

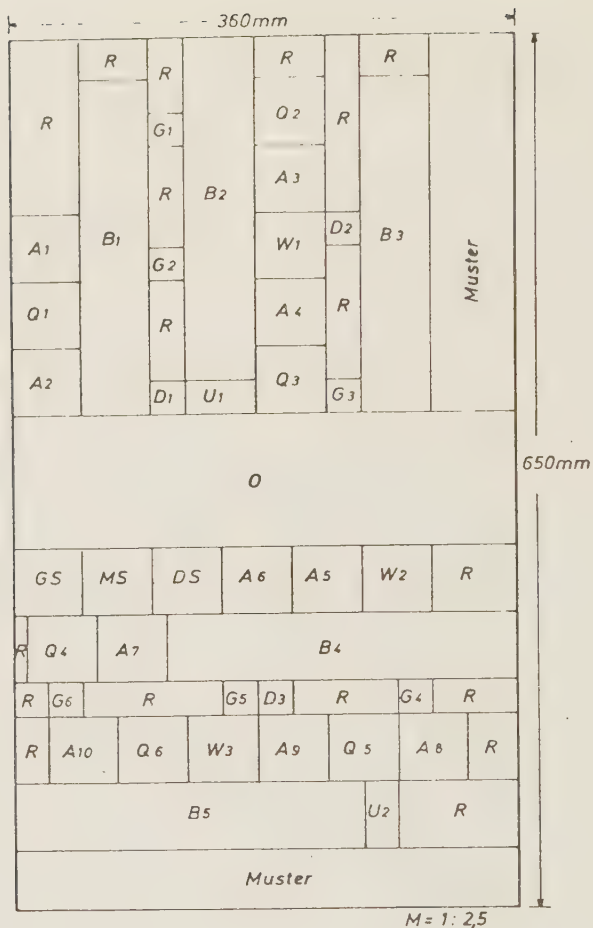


Abb. 24 Zuschnittplan

5.2. Die Anwendung mathematisch-statistischer Methoden

Um zwischen gesicherten und nicht gesicherten Mittelwertsunterschieden der Eigenschaften zwischen den Spanplattenarten unterscheiden zu können, erfolgte in der vorliegenden Arbeit eine statistische Auswertung:

Zur Wahl einer Methode zum Vergleich der Mittelwertsunterschiede wurden zuerst Stichproben aus den verschiedenen Spanplattenarten entnommen und die Abweichung der Einzelwerte von der Normalverteilung nach einer Methode von DAVID/HARTLEY/PEARSON (1954) geprüft. Es wurde festgestellt, daß die einzelnen Werte der Stichproben einer angenäherten Normalverteilung folgen. Daher wurde zum Vergleich der Mittelwerte der t-Test mit einer statistischen Sicherheit von 99 % angewendet, der eine Normalverteilung voraussetzt (GRAF/HENNING, 1955; SACHS, 1974). Um den Einfluß der Herstellungsvarianten auf die Spanplatteneigenschaften zu erfassen, wurden die Mittelwertsunterschiede der Eigenschaften der verschiedenen Spanplattenarten nur dann verglichen, wenn sich die Spanplattenarten nur in einer Herstellungsvariante unterschieden. Es wurden z.B. die Spanplattenart mit Eichen-DS, Kiefern-MS und einem DS-MS-Verhältnis von 35 % : 65 % (Ei_{35}/Ki_{65}) mit der Spanplattenart aus Tannen-DS, Kiefern-MS und einem DS-MS-Verhältnis von 35 % : 65 % (Ta_{35}/Ki_{65}) verglichen, weil diese sich nur in einer Herstellungsvariante (Holzart der Deckschicht) unterschieden.

5.3 Rohdichtedifferenzierung des Querschnitts

Bei der Herstellung der Spanplatten werden die Spanmatten in beheizten Pressen bis auf eine vorher bestimmte Dicke verdichtet und ausgehärtet. Die Spanplatten sind in der Regel wegen der höheren Temperatur außen stärker plastifizierbar und werden daher stärker als in der Plattenmitte verdichtet (PLATH, 1963). Das führt zu einer Rohdichtedifferenzierung, d.h. einer höheren Rohdichte in den Deckschichten und einer niedrigeren in der Mittelschicht (NEUSSER, 1963; v. BISMARCK, 1974).

In der Literatur sind umfangreiche Untersuchungen über den Einfluß der DS- und MS-Rohdichte auf die Spanplatteneigenschaften vorhanden. Nach NEUSSER (1963) ist die Abhebefestigkeit der DS und Querkzugfestigkeit der MS von der entsprechenden DS- bzw. MS-Rohdichte abhängig. Der gleiche Autor hat festgestellt, daß das Optimum der DS-Rohdichte für die Oberflächenruhe bei $0,800 \text{ g/cm}^3$ liegt, da eine höhere DS-Rohdichte zu einer Verschlechterung der Oberflächenruhe führt. Nach PLATH (1963) und KEHR/SCHILLING (1965) hängt die Biegefestigkeit der Spanplatten hauptsächlich von der DS-Rohdichte und die Querkzugfestigkeit von der MS-Rohdichte ab. Darüber hinaus berichtet KEYLWERTH (1958), daß bei reiner Biegung $2/3$ des Biegemomentes von der DS und $1/3$ von der MS aufgenommen werden. Untersuchungen von KEHR/SCHERFKE (1966) führen zu der Feststellung, daß sich sowohl mit zu hohen als auch zu niedrigen DS-Rohdichten die Oberflächenruhe verschlechtert.

5.3.1. Methode

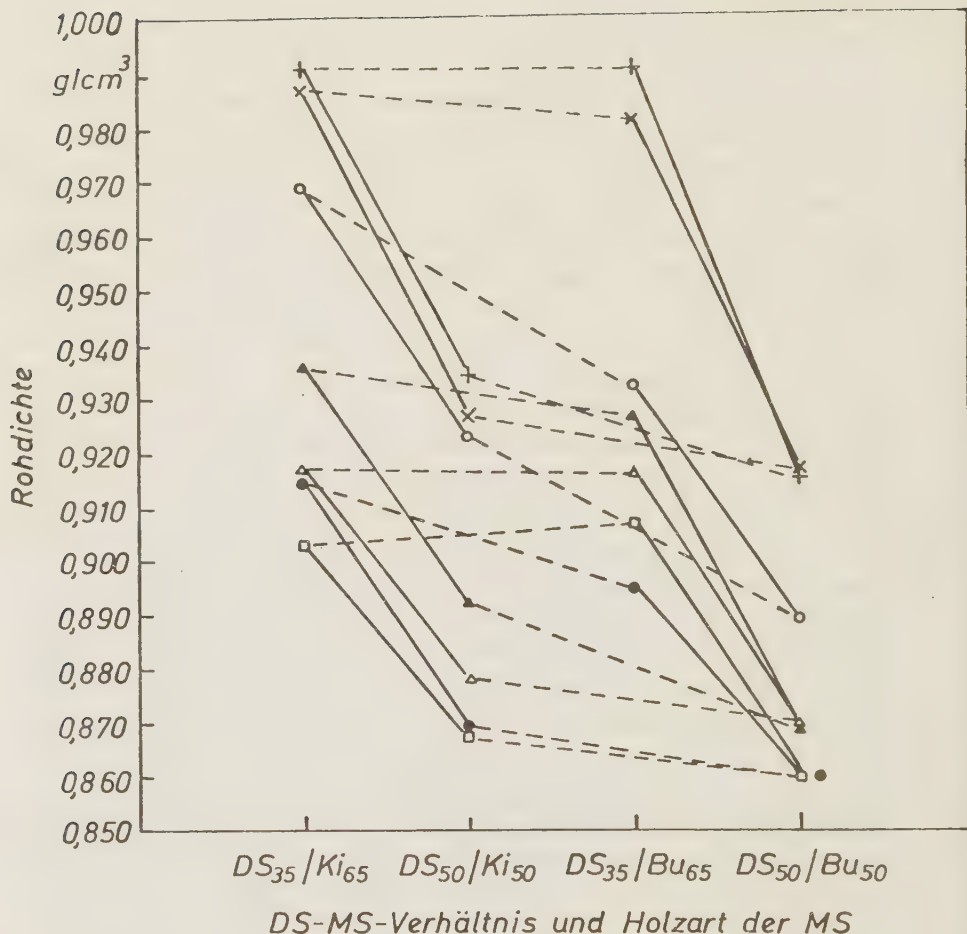
Um festzustellen wie sich bei den verschiedenen Spanplattenarten, die nach gleichen Herstellungsbedingungen gefertigt wurden, die Rohdichtedifferenzierung zwischen Deck- und Mittelschicht ausbildet, wurde in der vorliegenden Arbeit die Rohdichte der DS und MS von normalklimatisierten Spanplattenproben bestimmt. Zur Bestimmung

der Rohdichte der Deckschicht wurden 2,5 cm x 2,5 cm Spanplattenproben schichtweise parallel zur Oberfläche mit einer Genauigkeit von 0,02 mm bis zum Sichtbarwerden der ersten MS-Späne abgefräst. Aus den Volumen- und Gewichts-differenzen vor und nach dem Abfräsen wurde dann die Rohdichte der Deckschicht berechnet. Zur Bestimmung der Rohdichte der Mittelschicht wurden an 2,5 cm x 2,5 cm großen Spanplattenproben die beiden Deckschichten mit einer Präzisionskreissäge abgesägt. Die Rohdichte der auf diese Weise entstandenen MS-Proben erfolgte nach der Gewichts- und Volumenbestimmung.

5.3.2. Rohdichte der Deckschicht

Nach Abb. 25 gibt es Unterschiede zwischen der DS-Rohdichte aus den sieben Holzarten, bedingt durch die Holzarten der DS und MS und des DS- bzw. MS-Anteils. Bei gleichem DS-Anteil und gleicher Holzart in der MS weisen die Deckschichten der Nadelhölzer deutlich höhere Rohdichten als die Deckschichten aller Laubhölzer auf. Alle diese Unterschiede sind statistisch gesichert. Eine ähnliche Tendenz lassen Untersuchungsergebnisse an dreischichtigen Spanplatten von BUSCHBECK/KEHR/JENSEN (1961) und KEHR/SCHILLING (1965) erkennen, wobei sie für Kiefer und Fichte eine höhere DS-Rohdichte als für Hainbuche, Eiche und Rotbuche feststellen. Abweichend von den eigenen Ergebnissen ermittelten die genannten Autoren für Pappel eine ebenso hohe DS-Rohdichte wie für Kiefer. Aus ähnlichen Untersuchungen von STEGMANN/v. BISMARCK (1967) geht hervor, daß Kiefer gegenüber Hainbuche, Eiche und Rotbuche eine höhere DS-Rohdichte ausbildet. Auffällig ist die im Vergleich mit den anderen Laubhölzern verhältnismäßig hohe Rohdichte der DS aus Eiche.

Was die beiden DS-Anteile 35 % und 50 % anbelangt, haben Spanplatten mit einem Anteil von 35 % eine höhere DS-Rohdichte als die mit 50 %. Diese gesicherten Unterschiede sind vermutlich auf den niedrigeren Gegendruck, den die MS mit 50 % Anteil gegen die DS ausübt, zurückzuführen. Diese Erklärung wird auch dadurch bestätigt, daß die



- 1) Um zu verdeutlichen, welche Spanplattenarten statistisch miteinander verglichen wurden, wurde diese Form des Liniendiagramms gewählt.
- 2) Die in dieser Abbildung und den folgenden Abbildungen dargestellten Werte sind im Anhang als Tabellen wiedergegeben.

Spanplatten mit einem MS Anteil von 50 % gegenüber denen mit 65 % eine niedrigere MS-Rohdichte haben (vgl. Abschn. 5.3.3). Kiefer als Mittelschicht bewirkt im Vergleich zur Rotbuche nur bei den Deckschichten aus Tanne, Hainbuche und Eiche eine signifikant höhere Rohdichte.

Zwischen den festgestellten Schüttgewichten nach der Komprimierung der beleimten DS-Späne (s. Abb. 20) und den ermittelten DS-Rohdichten der hergestellten Spanplatten gibt es, abgesehen von Schwarzkiefer, keine Proportionalität. Das liegt wahrscheinlich an der zusätzlichen Einwirkung der Preßtemperatur während der Plattenherstellung, die bei der Kompressibilitätsbestimmung fehlt, und dem doppelt so hohen Preßdruck von $3,0 \text{ N/mm}^2$.

5.3.3. Rohdichte der Mittelschicht

Wie aus der Abb. 26 ersichtlich ist, haben die Spanplattenarten mit Stroben-DS die niedrigste MS-Rohdichte. Der Unterschied ihrer MS-Rohdichte ist im Vergleich zu den Spanplattenarten aus den übrigen sechs DS-Holzarten statistisch gesichert. Die höchste MS-Rohdichte wird dagegen von den Spanplattenarten mit der DS aus Rotbuche und Hainbuche erreicht.

Spanplattenarten mit 65 % MS-Anteil weisen eine höhere MS-Rohdichte als Spanplattenarten mit 50 % MS-Anteil auf (die Unterschiede sind statistisch gesichert). Ähnliche Untersuchungen von GEIMER/MONTREY/LEHMANN (1975) über die Eigenschaften dreischichtiger Spanplatten mit verschiedenen DS-MS-Verhältnissen ergaben für Spanplatten mit 80 % MS-Anteil eine höhere MS-Rohdichte gegenüber solchen mit 60 % MS-Anteil.

Bei einem Vergleich der Rohdichte der MS-Holzarten erreicht Rotbuche gegenüber Kiefer bei einem DS-MS-Verhältnis von 50 % : 50 % immer die höhere Rohdichte, während das bei dem DS-MS-Verhältnis von 35 % : 65 % nur bei den DS-Holzarten Strobe, Schwarzkiefer und Eiche der Fall ist. Die höhere MS-Rohdichte der Rotbuche ist mit der höheren Kompressibilität ihrer MS-Späne im Vergleich zu der der Kiefer zu erklären (vgl. Abschn. 3.5.2).

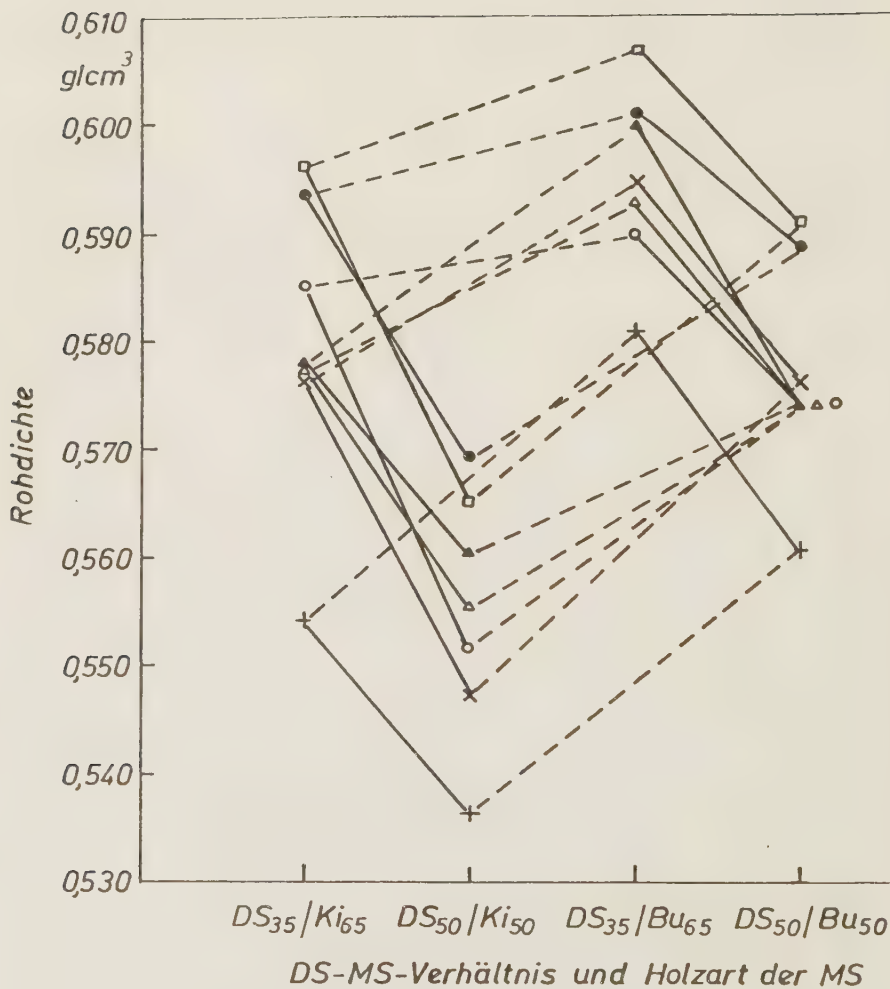


Abb. 26 Rohdichte der Mittelschicht der Spanplattenarten

- Vergleich zwischen dem MS-Anteil
 - - - - - Vergleich zwischen der MS-Holzart
 + Strobe o Tanne x Schwarzkiefer Δ Pappel
 ▲ Eiche □ Rotbuche ● Hainbuche

5.4. Mechanische Eigenschaften

5.4.1. Methode

Die Prüfung der Querkzugfestigkeit, Biegefestigkeit und Abhebefestigkeit erfolgte mit einer Instron Prüfmaschine nach DIN 52365, DIN 52362 und DIN 52366.

Nach dem Zuschnittplan (s. Abb. 24) wurden pro Spanplattenart für die Querkzugfestigkeit 18, die Biegefestigkeit 15, und die Abhebefestigkeit 30 Proben hergestellt.

5.4.2. Querkzugfestigkeit

In Abb. 27 sind die Querkzugfestigkeiten der verschiedenen Spanplattenarten dargestellt.

Der Einfluß der Holzart der DS auf die Querkzugfestigkeit ist gering. Eine Ausnahme bildet Strobe, die sich von den anderen Holzarten deutlich absetzt und die niedrigste Querkzugfestigkeit überhaupt erreicht. Dagegen erzielt die MS aus Rotbuche mit Rotbuchen- und Hainbuchen-DS bei beiden DS-MS-Verhältnissen die höchsten Querkzugfestigkeitswerte.

Die Unterschiede der Querkzugfestigkeit, bedingt durch die zwei MS-Anteile 65 % und 50 %, sind sowohl für die zwei Holzarten der MS, als auch für die sieben Holzarten der DS statistisch nicht gesichert.

Statistisch gesicherte Unterschiede ergeben sich dagegen zwischen den beiden MS-Holzarten, wobei Rotbuche wesentlich höhere Werte als Kiefer erzielt. So fanden auch BUSCHBECK/KEHR/JENSEN (1961) bei Untersuchungen an dreischichtigen Spanplatten aus Rotbuche und Kiefer für die Rotbuche eine bessere Querkzugfestigkeit als für die Kiefer. Dagegen ergaben Untersuchungen von (v. BISMARCK/STEGMANN, 1967; NEUSSER/ZENTNER, 1974) an einschichtigen Spanplatten aus Kiefer und Rotbuche keine Unterschiede in der Querkzugfestigkeit zwischen den beiden Holzarten. Die deutlichen Unterschiede in der

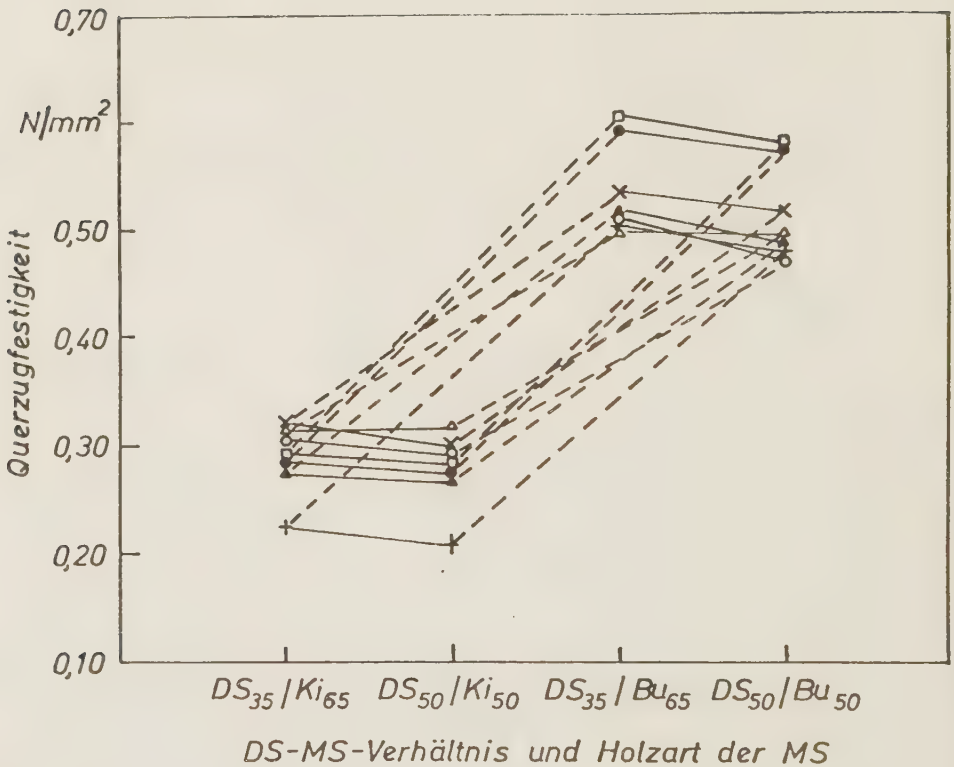


Abb. 27

Querzugfestigkeit der Spanplattenarten

———— Vergleich zwischen dem DS- bzw. dem MS-Anteil

----- Vergleich zwischen der MS-Holzart

+ Strobe o Tanne x Schwarzkiefer Δ Pappel

▲ Eiche □ Rotbuche ● Hainbuche

Querzugfestigkeit zwischen Kiefer und Rotbuche lassen sich wahrscheinlich mit makroskopischen Beobachtungen, die an Bruchflächen der geprüften Spanplattenproben durchgeführt wurden, erklären. So verläuft bei Spanplattenproben mit Rotbuchen-MS der Bruch meistens innerhalb der Späne (Holzbruch), dagegen kommt es bei Kiefern-MS in der Regel in den Leimfugen zum Bruch (Leimbruch). Der vorwiegend auftretende Holzbruch bei der Rotbuchen-MS weist auf einen besseren Kontakt und eine bessere Verankerung zwischen Spänen und Leim hin als dies bei der Kiefer der Fall ist. Das dürfte wesentlich auf die höhere Kompressibilität der MS-Späne aus Rotbuche zurückzuführen sein (vgl. Abschn. 3.5.2).

5.4.3. Biegefestigkeit

In Abb. 28 sind die Biegefestigkeitswerte der verschiedenen Spanplattenarten dargestellt. Die niedrigste Biegefestigkeit weisen Platten mit Deckschichten aus Strobe und Rotbuche auf. Tanne erzielt im Vergleich mit den übrigen Holzarten die höchste Biegefestigkeit, außer bei DS₃₅/Bu₆₅ bei der Schwarzkiefer etwas höher liegt.

Darüber hinaus zeigt Abb. 28, daß Spanplatten mit Rotbuchen-MS bei 50 % Anteil, abgesehen von Spanplatten mit DS aus Schwarzkiefer, höhere Biegefestigkeiten haben als diejenigen mit nur 35 % DS-Anteil. Diese angeführten Unterschiede stellen eine Tendenz dar, sind statistisch jedoch nicht gesichert. Ähnliche Untersuchungen von GEIMER/MONTREY/LEHMANN (1975) zeigten, daß eine Erhöhung des DS-Anteils von 20 % auf 40 % ebenfalls zu höheren Biegefestigkeiten führt.

Wie aus Abb. 28 zu ersehen ist, haben Spanplattenarten mit Rotbuchen-MS eine höhere Biegefestigkeit als die mit MS aus Kiefer. Diese Unterschiede sind jedoch nicht für alle Spanplattenarten statistisch gesichert. Während der Biegefestigkeitsprüfung wurde beobachtet, daß der Bruch von Spanplattenproben mit MS aus Kiefer nicht senkrecht, sondern in der MS parallel zur Spanplattenober-

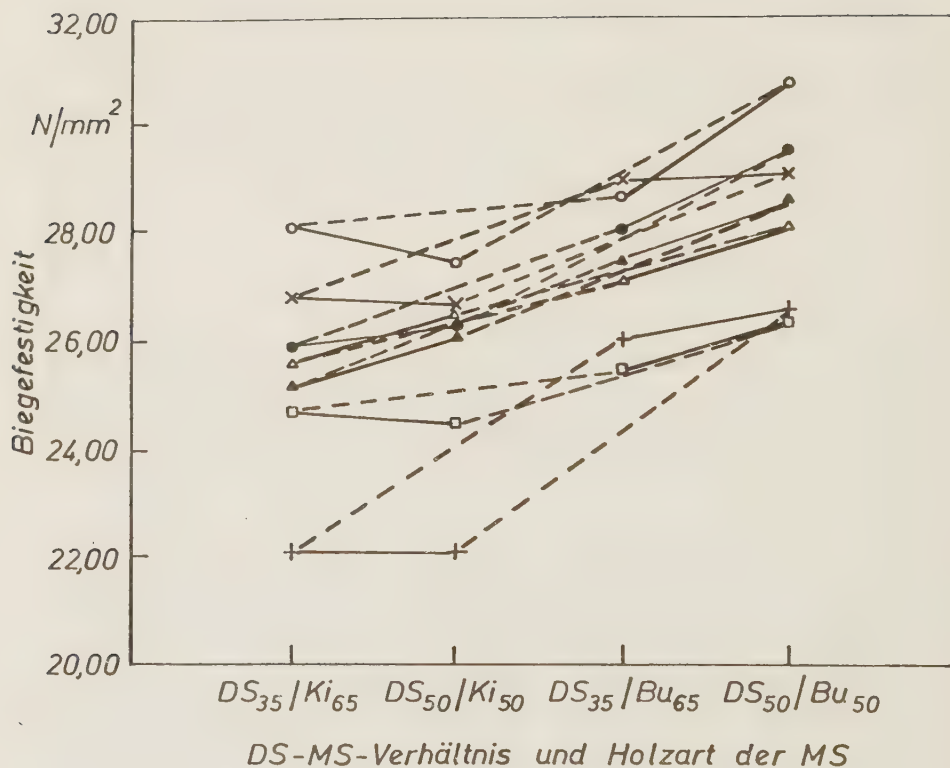


Abb. 28

Biegefestigkeit der Spanplattenarten

— Vergleich zwischen dem DS- bzw. MS-Anteil

- - - - - Vergleich zwischen der MS-Holzart

+ Strobe o Tanne x Schwarzkiefer Δ Pappel

▲ Eiche □ Rotbuche ● Hainbuche

fläche (Schubbruch) verläuft. Diese Erscheinung ist wohl überwiegend auf die niedrige Querkzugfestigkeit der Spanplattenarten mit Kiefern-MS zurückzuführen (vgl. Abschn. 5.4.2.). Dagegen verläuft der Bruch der Spanplattenproben bei Rotbuchen-MS immer senkrecht zur Spanplattenoberfläche und gleichzeitig in der DS und MS. Das führt im Vergleich zu Kiefern-MS zu höheren Biegefestigkeitswerten.

5.4.4. Abhebefestigkeit

Für die Spanplatte als Trägerelement zur Beschichtung mit harzgetränkten Papieren und bei der Flüssigbeschichtung spielt die Abhebefestigkeit eine wichtige Rolle. Bei einem Feuchtewechsel müssen die entstehenden Quell- und Schwindspannungen in der Grenzschicht zwischen Beschichtung und Spanplatte von den Beschichtungsmaterialien aufgenommen werden. Damit sich die Beschichtungsmaterialien nicht ablösen, dürfen diese Quell- und Schwindspannungen die Abhebefestigkeit nicht überschreiten (PLATH/SCHNITZLER, 1974). NEUSSER/KRAMES/ZENTNER (1969) fordern deshalb für Beschichtungszwecke eine Abhebefestigkeit von $1,0 - 1,2 \text{ N/mm}^2$.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Abhebefestigkeit sowohl an der oberen als auch an der unteren Seite der Spanplatten geprüft und daraus der Mittelwert gebildet. Während der Prüfung der Abhebefestigkeit der Spanplattenarten mit der MS aus Kiefer wurde beobachtet, daß nicht nur die DS sondern auch die Übergangszone zwischen DS und MS und bei einigen Proben sogar die MS beansprucht wurde. Dieses führt zu niedrigeren Abhebefestigkeitswerten bei den Spanplattenarten mit MS aus Kiefer im Vergleich zu denen mit MS aus Rotbuche (s. Abb. 29). Da es sich wegen der oben erwähnten Erscheinung bei Spanplattenarten mit Kiefern-MS um keine repräsentativen Abhebefestigkeitswerte handelt, wird im weiteren nur die Abhebefestigkeit der Spanplatten mit MS aus Rotbuche behandelt.

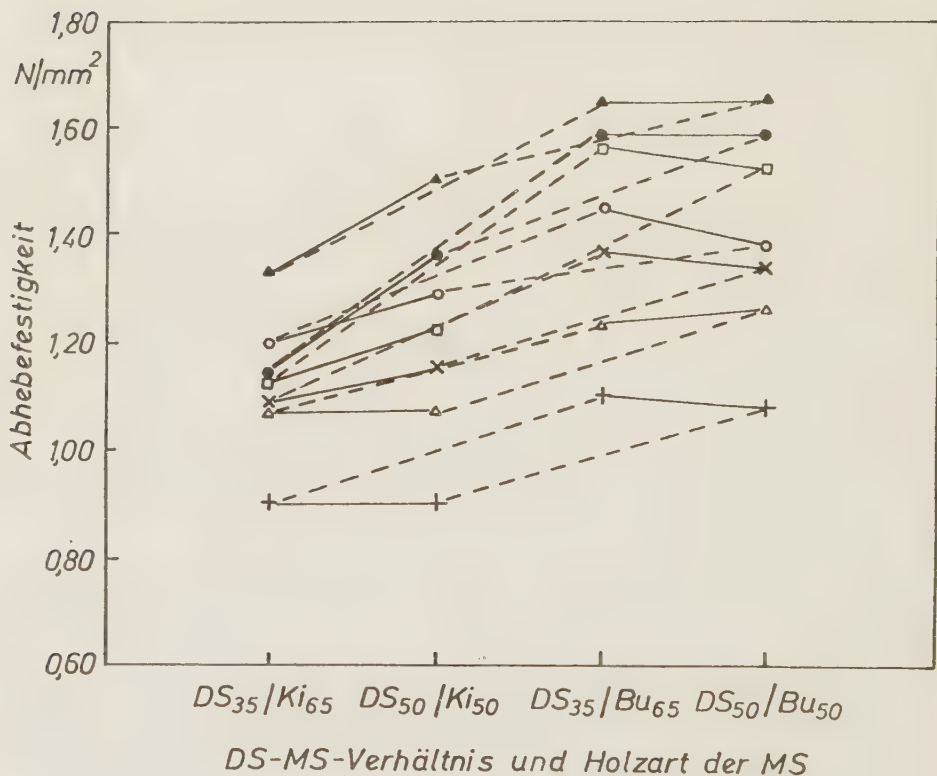


Abb. 29

Abhebefestigkeit der Spanplattenarten

———— Vergleich zwischen dem DS- bzw. dem MS-Anteil

----- Vergleich zwischen der MS-Holzart

+ Strobe o Tanne x Schwarzkiefer Δ Pappel

▲ Eiche □ Rotbuche ● Hainbuche

Ein Vergleich der einzelnen DS-Holzarten zeigt, daß die Deckschichten aus Eiche, Hainbuche und Rotbuche für beide DS-MS-Verhältnisse statistisch gesicherte höhere Abhebefestigkeitswerte aufweisen als diejenigen aus Strobe, Pappel und Schwarzkiefer.

Zwischen den Spanplattenarten mit einem DS-Anteil von 35 % und 50 % gibt es, was ihre Abhebefestigkeit anbelangt, keinen statistisch gesicherten Unterschied.

Aufgrund der höheren DS-Rohdichten der Spanplatten mit 35 % DS-Anteil ist jedoch gegenüber denen mit 50 % eine höhere Abhebefestigkeit zu erwarten. Daß es nicht zu höheren Abhebefestigkeiten kommt, ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß der Bruch während der Abhebefestigkeitsprüfung teilweise nicht nur innerhalb der DS verläuft, wie das bei den Spanplatten mit 50 % DS-Anteil der Fall ist, sondern auch zwischen DS und MS.

Ein Vergleich der Abhebefestigkeitswerte der Deckschichten aus den sieben DS-Holzarten mit ihrer Kompressibilität der beleimten DS-Späne (s. Tab. 11) läßt bei ansteigender Kompressibilität eine Verminderung der Abhebefestigkeit erkennen. Die DS-Rohdichte scheint nicht der entscheidende Einflußfaktor für die Abhebefestigkeit zu sein, denn, obwohl die Deckschichten aus Strobe, Schwarzkiefer und Tanne die höchste DS-Rohdichte aufweisen (vgl. Abschn. 5.3.2), haben sie im Vergleich zu den schweren Holzarten (Eiche, Hainbuche und Rotbuche), die eine niedrigere DS-Rohdichte zeigen, niedrigere Abhebefestigkeitswerte. Es ist anzunehmen, daß andere Einflußfaktoren vorwiegend die Abhebefestigkeit bestimmen, wie z.B. das Rohdichte-Profil der Deckschicht. Auch die Rohdichte der Holzarten scheint nicht der entscheidende Einflußfaktor für die Höhe der Abhebefestigkeit zu sein, obwohl zunächst bei grober Betrachtung die schwereren Holzarten höhere Werte als die leichteren erreichen. Abweichend von dieser allgemeinen Tendenz zeigt eine holzartenspezifische Auswertung, daß Eiche gegenüber Hainbuche eine höhere Abhebefestigkeit aufweist, obwohl Eiche eine niedrigere Massivholzrohichte als Hainbuche hat. Für Tanne und Schwarzkiefer läßt sich ähnliches feststellen.

5.5. Physikalische Eigenschaften

5.5.1. Feuchtigkeits- und Dickenänderung des gesamten Spanplattenquerschnitts, der Mittelschicht und der Deckschicht bei Übergang vom Normalklima (20/65) zu einem Feuchtklima (20/90)

Wenn Spanplatten einem Feuchtigkeitswechsel ausgesetzt werden verändert sich ihr Feuchtigkeitsgehalt und ihre Dicke.

Die Hygroskopizität und die damit verbundene Quellung beeinträchtigt die Verwendung von Spanplatten. Dies hat einen negativen Einfluß auf ihre Dimensionsstabilität und ihre Festigkeitseigenschaften. So haben z.B. (PERKITNY, 1962; BRYAN/SCHNIEWIND, 1965; OERTEL, 1968) nachgewiesen, daß sich die Festigkeit von Spanplatten mit zunehmendem Feuchtigkeitsgehalt verringert. Da bei der Feuchteaufnahme von Spanplatten die Dickenänderung 50mal größer ist als die Längen- bzw. die Breitenänderung (DEPPE, 1964), und es sich in der vorliegenden Arbeit um Spanplatten für den Möbelbau handelt, in welchem relativ kleine Dimensionen verwendet werden, wurde nur die Dickenänderung der Spanplatten untersucht.

5.5.1.1. Methode

Um den Einfluß der gewählten Herstellungsverfahren (vgl. Kap. 4.1) auf die Feuchtigkeits- bzw. Dickenänderung der Spanplatten zu untersuchen, wurde die Feuchtigkeits- bzw. die Dickenänderung⁺ sowohl des gesamten Spanplattenquerschnitts (GS), als auch der einzelnen Schichten (Deckschicht und Mittelschicht) nach dem Klimatisieren in einem Feuchtklima studiert.

Die Proben wurden zuerst im Normalklima (20/65) nach DIN 50014 klimatisiert und danach in einem Feuchtklima (20/90) gelagert. Mit einer Waage (Genauigkeit 0,0001 g) und einer Meßuhr (Genauigkeit

⁺ Unter Feuchtigkeits- und Dickenänderung ist die Feuchtigkeits- und Dickenzunahme der Proben nach Klimatisierung im Feuchtklima (20/90) gemeint.

0,001 mm), wurde die Gewichts- bzw. Dickenänderung der Proben, nachdem sich die Gewichtskonstanz eingestellt hatte, gemessen. Die Feuchtigkeitsänderung Δu wurde berechnet als das Verhältnis aus der Differenz des Gewichts der Proben im Normalklima G_n und dem Feuchtklima G_f zu dem Gewicht der normalklimatisierten Proben G_n :

$$\Delta u = \frac{G_f - G_n}{G_n} \cdot 100 (\%)$$

Analog dazu wurde die Dickenänderung Δd errechnet:

$$\Delta d = \frac{d_f - d_n}{d_n} \cdot 100 (\%)$$

5.5.1.2. Feuchtigkeits- und Dickenänderung des gesamten Spanplattenquerschnitts

In der Abb. 30 läßt sich die Auswirkung der DS-Holzarten auf die Feuchtigkeitsänderung der Spanplattenarten nach dem Klimatisieren im Feuchtklima erkennen. Spanplattenarten mit den Deckschichten aus Hainbuche und Rotbuche zeigen eine höhere Feuchtigkeitsänderung als die mit den Deckschichten aus Strobe, Pappel, Schwarzkiefer, Eiche und Tanne. Die Unterschiede der Feuchtigkeitsänderung zwischen den beiden Gruppen sind statistisch gesichert. Spanplattenarten mit Stroben-DS zeigen, was statistisch gesichert ist, niedrigere Feuchtigkeitsänderungen als alle übrigen Holzarten.

Abgesehen von den Spanplattenarten mit Deckschichten aus Hainbuche und Rotbuche weisen die mit Deckschichten aus den übrigen Holzarten mit 35 % Anteil höhere Feuchtigkeitsänderungen als Spanplattenarten mit 50 % DS-Anteil auf (ist statistisch gesichert).

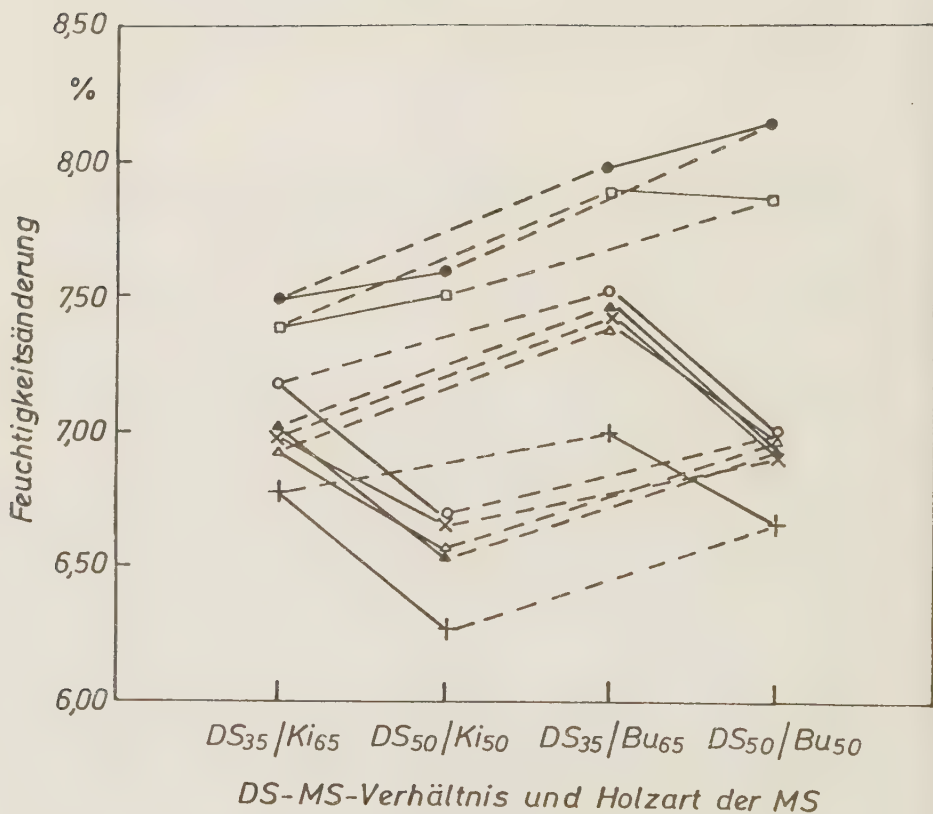


Abb. 30

Feuchtigkeitsänderung des gesamten Spanplattenquerschnitts der Spanplattenarten bei Übergang vom Normalklima (20/65) zu einem Feuchtklima (20/90)

———— Vergleich zwischen dem DS- bzw. MS-Anteil

----- Vergleich zwischen der MS-Holzart

+ Strobe o Tanne x Schwarzkiefer Δ Pappel

▲ Eiche □ Rotbuche ● Hainbuche

Was die Holzart der MS anbelangt, so kommt es bei den Spanplattenarten mit Rotbuchen-MS zu einer höheren Feuchtigkeitsänderung als bei solchen mit Kiefern-MS (vgl. Abb. 30). Die Unterschiede sind statistisch gesichert.

In Abb. 31 sind die Dickenänderungen der untersuchten Spanplattenarten dargestellt. Es ist ersichtlich, daß die Spanplattenarten mit Hainbuchen- und Rotbuchen-DS im Vergleich zu denen der übrigen fünf Holzarten eine höhere Dickenänderung aufweisen. Merkwürdig bleibt die hohe Dickenänderung der Spanplattenarten mit Deckschichten aus Strobe und Tanne bei DS₃₅/Ki₆₅. Die niedrigste Dickenänderung ist bei den Spanplatten mit Eichen- und Pappeln-DS zu beobachten. Eine sehr niedrige Dickenänderung weisen auch die Platten mit Schwarzkiefern-DS bei einem DS-Anteil von 50 % auf. Spanplattenarten mit Mittelschicht aus Kiefer und einem DS-MS-Verhältnis 35 % : 65 % ergeben, was statistisch gesichert ist, eine höhere Dickenänderung als die mit einem DS-MS-Verhältnis von 50 % : 50 %. Dagegen zeigen sich bei den Spanplatten mit Rotbuchen-MS und einem DS-MS-Verhältnis von 35 % : 65 %, abgesehen von Platten mit Schwarzkiefern-DS, keine statistisch gesicherten Unterschiede im Vergleich zu denen mit einem DS-MS-Verhältnis von 50 % : 50 %.

Spanplatten mit 50 % MS-Anteil weisen keinen statistisch gesicherten Unterschied zwischen den zwei MS-Holzarten auf. Dagegen kommt es bei einem MS-Anteil von 65 % zwischen Spanplatten mit MS aus Kiefer und Rotbuche zu einem gesicherten Unterschied. Dabei weist die Kiefer eine wesentlich höhere Dickenänderung auf.

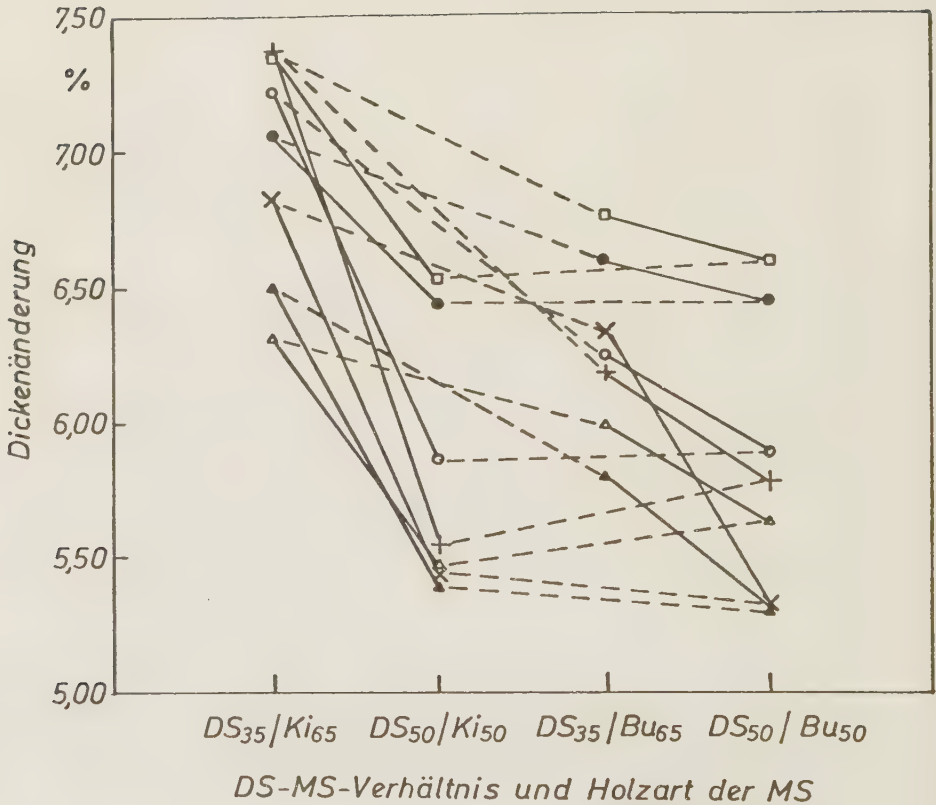


Abb. 31 Dickenänderung des gesamten Spanplattenquerschnitts der Spanplattenarten bei Übergang vom Normalklima (20/65) zu einem Feuchtklima (20/90)

— Vergleich zwischen dem DS- bzw. MS-Anteil

- - - - - Vergleich zwischen der MS-Holzart

+ Strobe o Tanne x Schwarzkiefer Δ Pappel
 ▲ Eiche □ Rotbuche ● Hainbuche

5.5.1.3. Feuchtigkeits- und Dickenänderung der Mittelschicht

In Abb. 32 ist die Feuchtigkeitsänderung der MS der untersuchten Spanplattenarten dargestellt.

Die statistische Auswertung weist nach, daß die Mittelschicht aus Rotbuche eine signifikant höhere Feuchtigkeitsänderung als die der Kiefer hat (vgl. Abschn. 5.5.1.2.). Die Unterschiede lassen sich durch die unterschiedliche Feuchtigkeitsaufnahme der beiden Holzarten nicht erklären, denn nach Untersuchungen von KEYLWERTH (1969) zeigten die Feuchtigkeitsänderungen beider Holzarten bei der Klimaänderung von $20^{\circ}\text{C}/37\%$ relativer Luftfeuchte auf $20^{\circ}\text{C}/83\%$ relative Luftfeuchte keine nennenswerten Unterschiede. Zwischen den Mittelschichten mit 65 % und 50 % Anteil läßt sich innerhalb einer Holzart kein signifikanter Unterschied feststellen. NEUSSER/KRAMES/KFRN (1960) fanden bei der Wasserlagerung von Spanplatten unterschiedlicher Rohdichte eine niedrigere prozentuale Wasseraufnahme mit ansteigender Rohdichte. Obwohl diese Ergebnisse nicht direkt mit den eigenen vergleichbar sind, weil die eigene Untersuchung in feuchter Luft stattfand, scheint der Einfluß der signifikanten Rohdichtenunterschiede sowohl zwischen den beiden MS-Holzarten Rotbuche und Kiefer als auch zwischen den MS-Anteilen 65 % und 50 % (vgl. Abschn. 5.3.3.), durch andere Einflußfaktoren kompensiert zu werden. Wie die Abb. 32 zeigt, heben sich die MS der Spanplatten mit Pappeln-DS bei $\text{DS}_{35}/\text{Ki}_{65}$ und $\text{DS}_{50}/\text{Ki}_{50}$ sehr deutlich von den MS der anderen Spanplattenarten ab. Zwischen den Mittelschichten der übrigen Spanplattenarten gibt es vereinzelt Unterschiede, bedingt durch die DS-Holzart.

Was die Dickenänderung anbelangt (s. Abb.33), wurde zwischen der MS aus Rotbuche und Kiefer kein statistisch gesicherter Unterschied gefunden, obwohl Massivholz aus Rotbuche eine höhere Schwindung als das aus Kiefer aufweist. Da mit ansteigender Rohdichte der Spanplatten eine höhere Dickenänderung nach der Wasserlagerung zu erwarten ist (BUSCHBECK/KEHR/JENSEN, 1961; NEUSSER/KRAMES/HAIDINGER, 1965; KEHR/WATZKE/KARGER, 1966; PAULITSCH, 1973 u.a.), ist anzunehmen, daß der Einfluß der höheren MS-Rohdichte der Rotbuche (vgl. Abschn. 5.3.3.) in der vorliegenden Arbeit durch andere Einflußfakto-

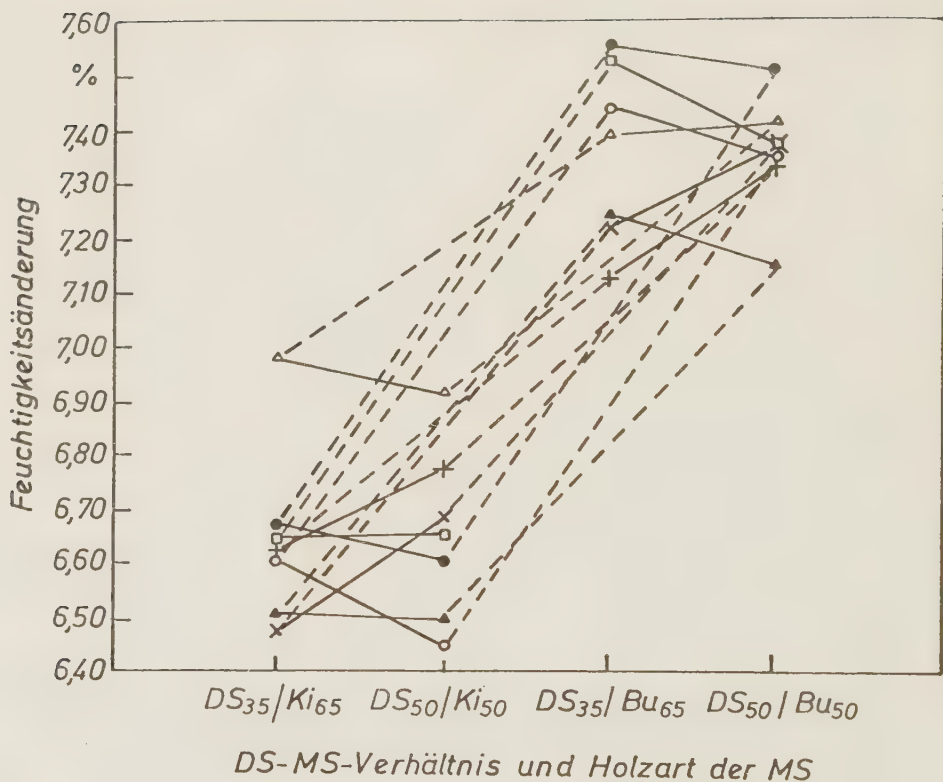


Abb. 32 Feuchtigkeitsänderung der Mittelschicht der Spanplattenarten bei Übergang vom Normalklima (20/65) zu einem Feuchtklima (20/90)

—— Vergleich zwischen dem MS-Anteil
 - - - - Vergleich zwischen der MS-Holzart
 + Strobe o Tanne x Schwarzkiefer Δ Pappel
 ▲ Eiche □ Rotbuche ● Hainbuche

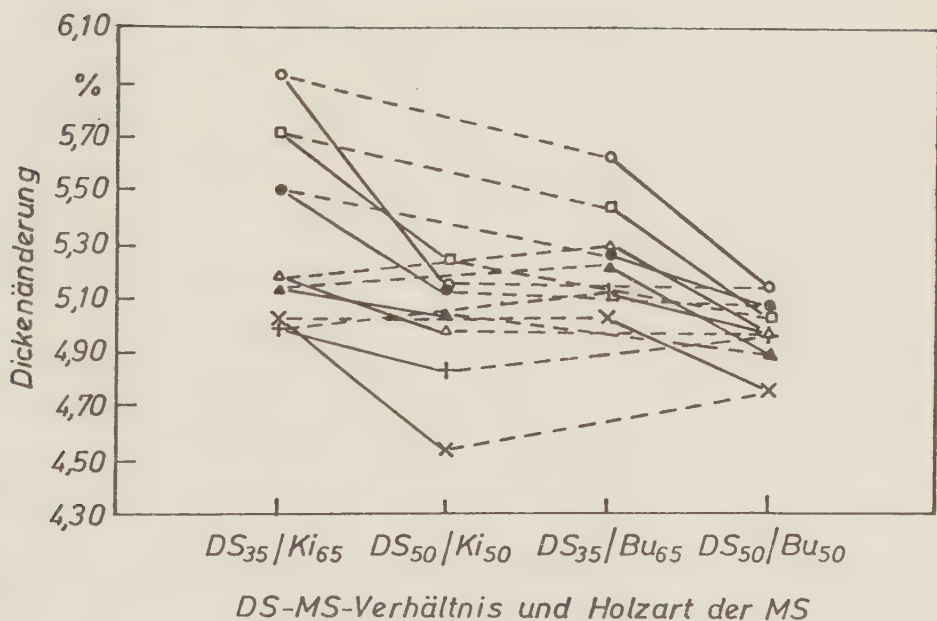


Abb. 33 Dickenänderung der Mittelschicht der Spanplattenarten bei Übergang vom Normalklima (20/65) zu einem Feuchtklima (20/90)

—— Vergleich zwischen dem MS-Anteil

----- Vergleich zwischen der MS-Holzart

+ Strobe ○ Tanne × Schwarzkiefer △ Pappel

▲ Eiche □ Rotbuche ● Hainbuche

ren aufgehoben wird. Z.B. durch die niedrige Querkzugfestigkeit der MS aus Kiefer könnte eine größere Dickenänderung (Rückfederung) in feuchter Luft begünstigt werden. Auch die größere Dicke der MS-Späne aus Kiefer (vgl. Abschn. 3.3.3) könnte zu einer verstärkten Dickenzunahme der MS führen, denn nach BRUMBAUGH (1960), RACKWITZ (1963), NEUSSER (1963) und CARRÉ (1973) nimmt die Dickenquellung der Spanplatten mit ansteigender Spandicke zu. Obwohl die Dickenänderung in feuchter Luft und in Wasser nicht direkt vergleichbar sind (JOHNSON, 1964), stimmen die gefundenen Ergebnisse mit denen von BUSCHBECK/KEHR/JENSEN (1961) und KEHR (1963) überein, die ebenfalls keinen signifikanten Unterschied für die Dickenquellung zwischen Spanplatten aus Rotbuche und Kiefer nachweisen konnten.

Der Gewichtsanteil der MS von 65 % und 50 % hat keinen signifikanten Einfluß auf die Dickenänderung der MS.

Daß die teilweise sehr ausgeprägten Unterschiede der Dickenänderungen zwischen den MS-Anteilen statistisch nicht gesichert sind, ist wahrscheinlich auf die Mängel der Meßmethode zurückzuführen, denn im Laufe der Feuchteaufnahme kommt es bei den MS-Proben im Unterschied zu den DS-Proben zu sehr starken Unebenheiten an den Probenoberflächen.

Zwischen den Mittelschichten der Spanplattenarten gibt es nur sporadisch gesicherte Unterschiede, bedingt durch die Holzart der DS.

5.5.1.4. Feuchtigkeits- und Dickenänderung der Deckschicht

Die Deckschichten der Holzarten aus Hainbuche und Rotbuche zeigen eine sehr hohe Feuchtigkeitsänderung während die aus Strobe die niedrigste Zunahme aufweisen (s. Abb. 34).

Diese Unterschiede in der Feuchtigkeitsänderung der DS dieser drei Holzarten sind den anderen gegenüber signifikant. Sie stimmen mit der Feuchtigkeitsänderung der Spanplattenarten mit Deckschichten aus diesen drei Holzarten überein (vgl. Abschn. 5.5.1.2). Zwischen den Deckschichten der übrigen vier Holzarten gibt es keine eindeutigen signifikanten Unterschiede, so z.B. gibt es nur bei

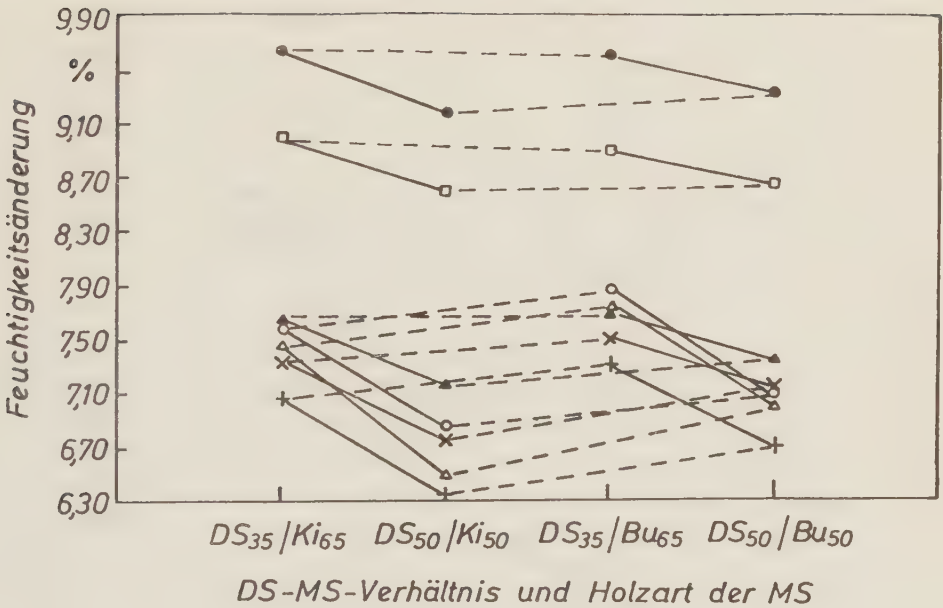


Abb. 34 Feuchtigkeitsänderung der Deckschicht der Spanplattenarten bei Übergang vom Normalklima (20/65) zu einem Feuchtklima (20/90)

— Vergleich zwischen dem DS-Anteil
 - - - - - Vergleich zwischen der MS-Holzart
 + Strobe o Tanne x Schwarzkiefer Δ Pappel
 ▲ Eiche □ Rotbuche ● Hainbuche

DS₃₅/Ki₆₅ zwischen Tanne und Schwarzkiefer signifikante Unterschiede, die aber bei DS₅₀/Ki₅₀ nicht vorhanden sind. Die Feuchtigkeitsänderungs-Unterschiede zwischen den Deckschichten mit 35 % und 50 % Anteil sind gesichert, wobei die Deckschichten mit 35 % Anteil immer die höheren Werte aufweisen. Abgesehen von den Deckschichten aus Hainbuche und Rotbuche, die keinen signifikanten Unterschied bei der Feuchtigkeitsänderung erkennen lassen, zeigen die Deckschichten der übrigen Holzarten mit Rotbuchen-MS vereinzelt statistisch gesicherte höhere Werte gegenüber denen der Spanplattenarten mit Kiefern-MS.

Wie aus der Abb. 35 ersichtlich ist, und durch die statistische Auswertung bestätigt wird, gibt es bei der Dickenänderung der Deckschichten der sieben Holzarten keine eindeutigen signifikanten Unterschiede. Deutlich weicht die Dickenänderung der Eichen-DS ab, die im Vergleich zu den übrigen Holzarten die niedrigste Dickenänderung aufweist. Bei DS₃₅/Ki₆₅ zeigt Pappel eine niedrigere Dickenänderung als die übrigen fünf DS-Holzarten. Bei DS₅₀/Ki₅₀ zeigen Hainbuche und Rotbuche die höchste, Pappel und Tanne eine verhältnismäßig niedrige Dickenänderung. Bei DS₃₅/Bu₆₅ ist die höhere Dickenänderung von Schwarzkiefer und Hainbuche im Vergleich zu den übrigen DS-Holzarten sehr deutlich. Die Deckschichten aus den Holzarten Hainbuche, Rotbuche und Schwarzkiefer zeigen bei DS₅₀/Bu₅₀ eine höhere Dickenänderung als die aus Tanne, Schwarzkiefer und Pappel. Die relativ hohe Dickenänderung der Stroben-DS im Verhältnis zu ihrer geringen Feuchtigkeitsänderung erklärt sich daraus, daß die hohe DS-Rohdichte dieser leichten Holzart eine starke Rückfederung verursacht.

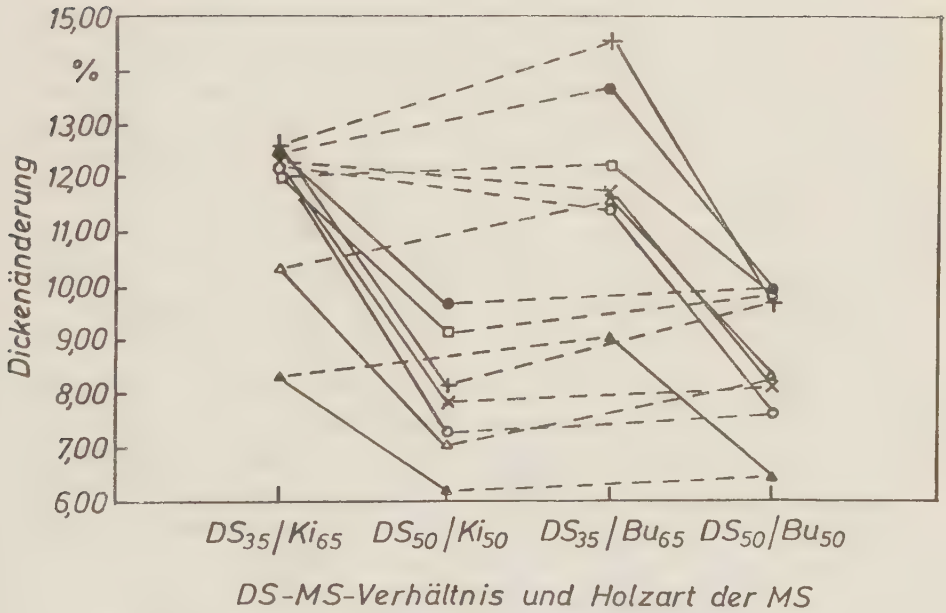


Abb. 35 Dickenänderung der Deckschicht der Spanplattenarten bei Übergang vom Normalklima (20/65) zu einem Feuchtklima (20/90)

————— Vergleich zwischen dem DS-Anteil
 - - - - - Vergleich zwischen der MS-Holzart
 + Strobe o Tanne x Schwarzkiefer Δ Pappel
 ▲ Eiche □ Rotbuche • Hainbuche

Die Dickenänderungs-Unterschiede zwischen der DS mit 35 % und 50 % Anteil sind gesichert, wobei die Deckschichten mit 35 % Anteil höhere Werte aufweisen. Die Unterschiede sind wahrscheinlich aufgrund des Zusammenwirkens zweier Einflußfaktoren, nämlich der höheren Rohdichte der DS mit 35 % Anteil (Rückfederung) und der geringen Dicke der DS mit 35 % Anteil im Vergleich zur Dicke der DS mit 50% Anteil (ca. 1,5 mm gegenüber ca. 2,5 mm) zurückzuführen. Diese Annahme steht in Einklang mit Versuchsergebnissen von NEUSSER/ZENTNER (1975), die gezeigt haben, daß dünne Spanplatten mit höheren Rohdichten eine höhere Dickenänderung nach Lagerung in einem Klima mit 30° C/95 % relativer Luftfeuchte gegenüber dickeren Spanplatten mit niedrigerer Rohdichte aufweisen. Darüber hinaus ist aus Untersuchungen von BUSCHBECK/KEHR/JENSEN (1961), KEHR/WATZKE/KARGER (1966), PAULITSCH (1973) u.a. bekannt, daß die Dickenquellung bei Wasserlagerung der Spanplatten mit zunehmender Rohdichte ansteigt.

Abgesehen von Hainbuche und Rotbuche läßt sich für die anderen DS-Holzarten keine Übereinstimmung zwischen der Volumenschwindung des Massivholzes und der Dickenänderung der Spanplatten-Deckschichten dieser Holzarten erkennen (vgl. Tab. 2 u. Anhang 8). So hat z.B. das Massivholz von Strobe eine sehr niedrige Volumenschwindung, während die Strobe als DS-Material von Spanplatten eine verhältnismäßig hohe Dickenänderung aufweist.

Dagegen ist die Dickenänderung der DS aus Eiche niedriger als aus der Volumenschwindung ihres Massivholzes zu erwarten ist.

In Abb. 36 u. 37 sind die Feuchtigkeits- und Dickenänderung der DS, der MS und der GS der Spanplattenarten von DS₃₅/Ki₆₅ dargestellt. Von einigen Ausnahmen abgesehen, so z.B. GS und MS von Pappel, weist der GS höhere Werte auf als die MS, aber niedrigere als die DS. Damit werden die Versuchsergebnisse von CARRÉ (1975) bestätigt. Die Unterschiede sind auf das Zusammenwirken der unterschiedlichen Rohdichte und Dicke der einzelnen Schichten zurückzuführen, wie schon oben erwähnt wurde. Die gleiche Tendenz läßt sich auch bei DS₅₀/Ki₅₀, DS₃₅/Bu₆₅ und DS₅₀/Bu₅₀ beobachten, weshalb auf deren Darstellung verzichtet wird.

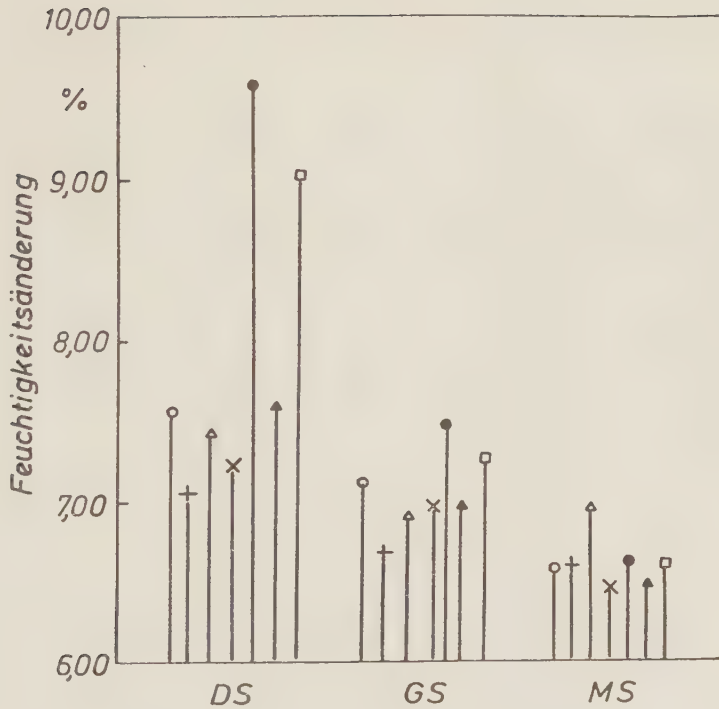


Abb. 36 Feuchtigkeitsänderung der Deckschicht (DS), des gesamten Spanplattenquerschnitts (GS) und der Mittelschicht (MS) von DS₃₅/Ki₆₅ bei Übergang vom Normalklima (20/65) zu einem Feuchtklima (20/90)

+ Strobe ○ Tanne x Schwarzkiefer Δ Pappel
▲ Eiche □ Rotbuche ● Hainbuche

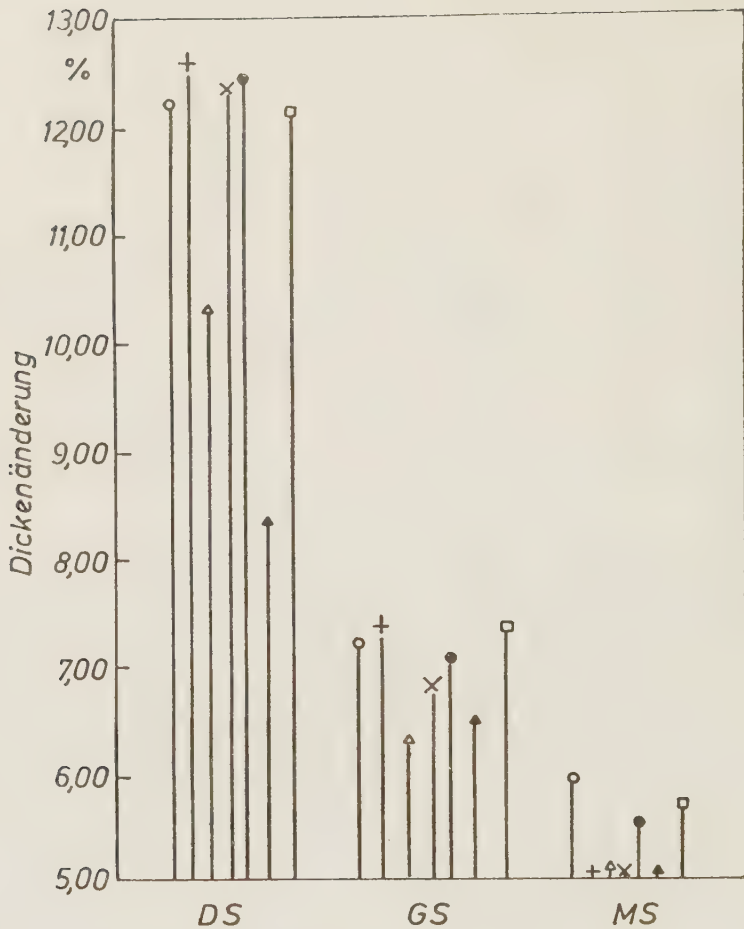


Abb. 37 Dickenänderung der Deckschicht (DS), des gesamten Spanplattenquerschnitts (GS) und der Mittelschicht (MS) von DS₃₅/Ki₆₅ bei Übergang von Normalklima (20/65) zu einem Feuchtklima (20/90)

+ Strobe o Tanne x Schwarzkiefer Δ Pappel
▲ Eiche □ Rotbuche ● Hainbuche

Aus Abb. 30 bis 35 und Abb. 36 u. 37 ist ersichtlich, daß sowohl die einzelnen Spanplattenschichten als auch der gesamte Spanplattenquerschnitt keine Parallelität zwischen Feuchtigkeits- und Dickenänderung nach der Feuchtelagerung aufweisen. Zu einer ähnlichen Feststellung gelangt JOHSON (1964), der bei der Lagerung von Spanplatten in einem Klima mit $21^{\circ}\text{C}/90\%$ relativer Luftfeuchte beobachtet hat, daß die Dickenänderung der Spanplatten nicht proportional mit der Feuchteaufnahme verläuft. Auch DOSOUDIL (1969) berichtet, daß bei der Wasserlagerung von Spanplatten zwischen der Massen- und Dickenzunahme kein direkter Zusammenhang besteht. Dagegen fand PÉTÉTIN (1974) eine lineare Korrelation zwischen Feuchte- und Dickenänderung von Spanplatten nach einem Klimawechsel von $25^{\circ}\text{C}/30\%$ relativer Luftfeuchte auf $25^{\circ}\text{C}/85\%$ relative Luftfeuchte.

5.5.2. Wasseraufnahme und Dickenänderung der Deckschichten bei Wasserlagerung der Spanplatten mit abgedichteten Querschnittsflächen

Für einige Oberflächenbehandlungen von Spanplatten, z.B. bei Beschichtung mit PVC-Folien, bei Lackierung und Maserdruck, kann das Eindringungsvermögen des Wassers und der Lösungsmittel von Klebstoffen und Lacken in die DS von Bedeutung sein. Einerseits wünscht man ein schnelles Eindiffundieren der in den Klebstoffen und Beschichtungsmaterialien enthaltenen Lösungsmittel und Wasseranteile in die Trägerplatte, so daß es zu keiner Blasenbildung kommen kann, und der Leim während der Beschichtung aber auch nicht wegschlagen kann, andererseits wird von lackierfähigen Platten eine möglichst dicht geschlossene Oberfläche verlangt, um den Lackverbrauch möglichst gering zu halten (PLATH, 1971; REITER/GFELLER, 1977).

5.5.2.1. Methode

Für die Bestimmung der Wasseraufnahme und der Quellung durch Wassereinwirkung über die Oberfläche gibt es kein genormtes Verfahren. Als geeignet für diesen Zweck hat sich eine von v. BISMARCK/MEHLHORN (1973) entwickelte Methode erwiesen, die für die eigenen Versuche angewendet wurde. Nach dieser Methode werden die Querschnittsflächen (in der Praxis oft als Kanten bezeichnet) der Spanplattenproben mit einem ⁺Kantenschutz abgedichtet und die Proben schwimmend auf dem Wasser bei 20° C gelagert.

Da in der vorliegenden Arbeit nur die Unterschiede des Wasseraufnahmevermögens der sieben Deckschicht-Holzarten von Interesse war, wurden für die Versuche nur die sieben Spanplattenarten von DS₅₀/Ki₅₀ verwendet. Außerdem wurde davon ausgegangen, daß die MS die untersuchte Eigenschaft nicht beeinflusste. Die Wasseraufnahme bzw. die Dickenänderung der Deckschichten infolge einseitiger

⁺ Der Kantenschutz bestand aus einer Mischung von Stammlack Perfalon 115 und Härter 67 in einem Gewichtsverhältnis 2:1

Wassereinwirkung durch die Spanplattenoberflächen wurde nach 2, 4 und 8 Stunden ermittelt. Nach dem Abtropfen der Proben auf Filterpapier wurde die Gewichts- bzw. Dickenänderung der Deckschichten mit einer Waage (Genauigkeit 0,0001 g) und einer Meßuhr (Genauigkeit 0,001 mm) gemessen. Dabei hat es sich als nicht zweckmäßig erwiesen, die Wasseraufnahme bzw. die Dickenänderung der Deckschichten nach einer Zeit von mehr als 8 Stunden zu bestimmen, denn wie Vorversuche zeigten, dringt nach über 8 Stunden das Wasser bei den meisten Holzarten bereits in die Mittelschicht ein. Stichprobenartig wurde die Eindringtiefe des Wassers überprüft, um sicherzustellen, daß nach 8 Stunden das Wasser die Mittelschicht noch nicht erreicht hatte.

5.5.2.2. Wasseraufnahme und Dickenänderung der Deckschichten

In der Abb. 38 und Abb. 39 sind die Wasseraufnahme und Dickenänderung der Deckschichten der sieben Spanplattenarten dargestellt. Es läßt sich erkennen, daß mit zunehmender Dauer der Wassereinwirkung die Unterschiede zwischen den DS-Holzarten deutlich werden. Nach 8 Stunden zeigt sich folgendes Bild: Rotbuche und Schwarzkiefer verzeichnen die höchste, Tanne, Eiche und Strobe die niedrigste Wasseraufnahme, während Hainbuche und Pappel eine Mittelstellung einnehmen (s. Abb. 38). Wie aus der Abb. 25 und Abb. 38 ersichtlich ist, läßt sich keine Tendenz zwischen der DS-Rohdichte der Holzarten und der Wasseraufnahme ihrer Deckschichten erkennen. So zeigen z.B. Strobe, Tanne und Schwarzkiefer, die ungefähr die gleiche DS-Rohdichte aufweisen, eine unterschiedliche Wasseraufnahme. Auch Hainbuche und Rotbuche, die eine ungefähr gleiche DS-Rohdichte haben, zeigen ein unterschiedliches Verhalten bei der Wasseraufnahme. Zur Erklärung der Unterschiede des Wasseraufnahmevermögens zwischen den DS-Holzarten wurde die Porengrößenverteilung an völlig trockenen Deckschichtproben mit einem Quecksilberporosimeter nach SCHNEIDER/WAGNER 1974 bestimmt (s.Tab.15).

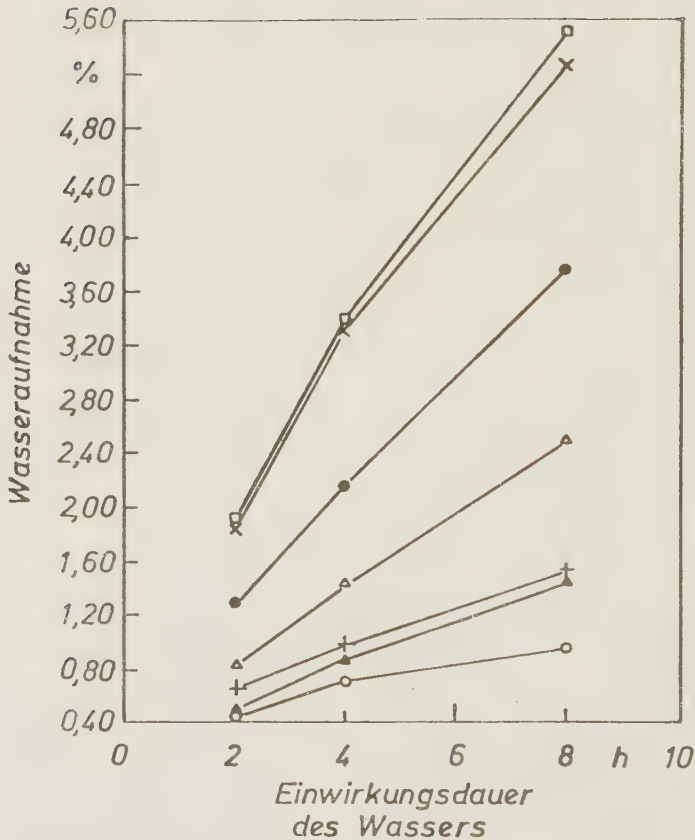


Abb. 38

Wasseraufnahme der Deckschichten von DS_{50}/Ki_{50} durch einseitige Wassereinwirkung auf die Spanplattenoberfläche nach 2, 4 und 8 Stunden

+ Strobe o Tanne x Schwarzkiefer Δ Pappel
▲ Eiche □ Rotbuche ● Hainbuche

Tab. 15 Porengrößenverteilung der Deckschichten aus sieben Holzarten

Holzart	Porengrößenverteilung (%)			Rohdichte der Deckschicht (g/cm ³)
	$r < 10^3 \text{ \AA}$	$10^3 \text{ \AA} \leq r < 10^4 \text{ \AA}$	$r \geq 10^4 \text{ \AA}$	
Strobe	12,8	31,8	55,4	0,927
Tanne	19,4	25,3	55,3	0,930
Schwarz- kiefer	10,6	19,6	69,8	0,932
Pappel	20,6	31,4	48,0	0,882
Eiche	41,9	22,7	35,4	0,907
Rotbuche	18,0	10,4	71,6	0,857
Hainbuche	20,8	22,7	56,5	0,876

r: Porenradius

Unter Poren werden in diesem Zusammenhang die Kapillarräume innerhalb der Späne und auch die zwischen den Spänen vorhandenen Hohlräume (interparticuläre Hohlräume) verstanden.

Tab. 15 stellt die Ergebnisse der Porengrößenverteilung der Deckschichten der sieben Holzarten dar. Man kann eine Parallelität zwischen den Porengrößen $> 10^4 \text{ \AA}$ und dem Wasseraufnahmevermögen bei den Deckschichten aus Rotbuche, Schwarzkiefer, Hainbuche, Eiche und Pappel beobachten. Ein abweichendes Verhalten zeigen Tanne und Strobe. Wahrscheinlich wird die Wasseraufnahme auch von

anderen Einflußfaktoren, wie z.B. dem Rohdichte-Profil, der Fraktionszusammensetzung, dem Spancharakter, der Lage der Späne im Bezug zur Oberfläche, der Struktur des Holzes u.a. beeinflußt.

Gegenüber der Wasseraufnahme ergeben sich bei der Dickenänderung (s. Abb. 39) zwischen den Holzarten leichte Verschiebungen. So weisen Eiche, Tanne, Strobe und Pappel die niedrigste, und Schwarzkiefer die höchste Dickenzunahme auf, während Rotbuche und Hainbuche eine Zwischenstellung einnehmen.

Ein Vergleich der Wasseraufnahme bzw. der Dickenänderung der Deckschichten der verwendeten Holzarten durch Wassereinwirkung nach 8 Stunden mit der Feuchtigkeits- bzw. Dickenänderung der Deckschichten nach Lagerung im Feuchtklima (vgl. Abschn. 5.5.1.4), läßt ein völlig unterschiedliches Verhalten erkennen. Der Grund dafür ist, daß ihre Feuchtigkeits- bzw. Dickenänderung im Feuchtklima in einem Gleichgewichtszustand (Beharrungszustand) erfolgte. Im Gegensatz dazu zeigte sich bei der Wasserlagerung, daß das Wasser nach 8 Stunden die Deckschichten nur teilweise, und zwar unterschiedlich für die verschiedenen DS-Holzarten, durchdrungen hatte.

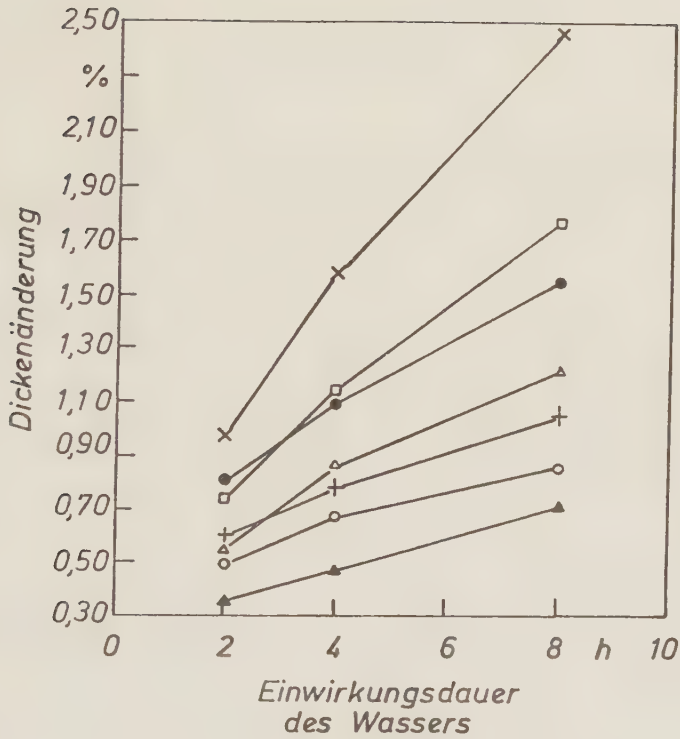


Abb. 39

Dickenänderung der Deckschichten von DS_{50}/Ki_{50} durch einseitige Wassereinwirkung auf die Spanplattenoberfläche nach 2, 4 und 8 Stunden

+ Strobe o Tanne x Schwarzkiefer Δ Pappel
▲ Eiche □ Rotbuche ● Hainbuche

5.6. Prüfung der Rauheit der Spanplattenoberflächen

5.6.1. Allgemeines

In den letzten Jahren wurde eine Reihe neuer Beschichtungsverfahren entwickelt, die gleichzeitig steigende Anforderungen an die Oberflächen der unbeschichteten Spanplatten mit sich brachten. So sind nach PLATH (1971) an Spanplatten, die mit dünnen Folien beschichtet werden, besonders hohe Ansprüche an die Gleichmäßigkeit und Geschlossenheit der Oberfläche zu stellen.

Obwohl die Oberflächengüte einer unbeschichteten Spanplatte einerseits von den geometrischen Eigenschaften wie Welligkeit und Rauheit, andererseits von den chemischen, physikalischen und mechanischen Eigenschaften der Oberflächen abhängt (PLATH, 1971), wird in der Spanplattenindustrie unter dem Begriff "Oberflächengüte" meist die Welligkeit, die Rauheit, die Deckschicht-Rohdichte, die Geschlossenheit und die Quellung im Bereich der Oberflächenschicht verstanden (v. BISMARCK/MEHLHORN, 1973). Eine Kontrolle der Oberflächengüte der Spanplatten vor dem Beschichten ist deshalb von wirtschaftlicher Bedeutung, weil dadurch ungeeignete Spanplatten von vornherein aussortiert werden können.

In DIN 4760 wird der Begriff Oberfläche in sechs Unterbegriffe gegliedert, von denen nur die Istoberfläche eine praktische Bedeutung hat. "Istoberfläche" ist die meßtechnisch erfaßte Oberfläche. Sie stellt ein angenähertes Abbild der wirklichen Oberfläche dar. "Geometrisch-ideale Oberfläche" ist die Begrenzung des geometrisch vollkommen gedachten Körpers. Weiter werden in DIN 4760 für Metalle die Gestaltabweichungen der Istoberfläche von der geometrisch-idealen Oberfläche wie folgt unterschieden:

Erste Ordnung	:	Formabweichungen
Zweite	"	: Welligkeit (Wellen)
Dritte	"	: Rauheit (Rillen)
Vierte	"	: Rauheit (Riefen, Schuppen, Kuppen)
Fünfte	"	: Rauheit (Gefügestruktur)
Sechste	"	: Gitteraufbau des Werkstoffes

Danach versteht man unter Rauheit (Gestaltabweichungen 3. bis 5. Ordnung) regelmäßig oder unregelmäßig wiederkehrende Abweichungen, deren Abstände nur ein geringes Vielfaches ihrer Tiefe betragen. Dagegen betragen bei der Welligkeit (Gestaltabweichungen 2. Ordnung) die Abstände der Abweichungen ein beträchtliches Vielfaches ihrer Tiefe (DIN 4760).

5.6.2. Methode

Eine Vielzahl von Geräten und Auswertungsverfahren zur Ermittlung und Kennzeichnung der Oberflächengestalt wurde in den letzten 15 Jahren beschrieben.

W. EHLERS (1958) beschreibt ein Verfahren, in dem die mittels einer Tastnadel durchgeführten Vertikaltastschnitte optisch erfaßt und dann ausgewertet werden. Seine Untersuchungen an Massivholz zeigen eine Abhängigkeit des Ergebnisses vom Tastnadelradius und dem anatomischen Holzgefüge. PAHLITZSCH/DZIOBEK (1961) führten die Untersuchungen von EHLERS weiter und erarbeiteten neben der Vielzahl der sich anbietenden Profilmaßzahlen Vorschläge zur Verbesserung der Aussagekraft der Ergebnisse. Hierbei lehnten sie sich weitgehend an die Erkenntnisse aus Messungen von Metalloberflächen an. POLOVTSEFF (1961) schlägt eine Methode zur Erfassung der Oberflächenqualität von Spanplatten vor, die nach dem gleichen Prinzip, wie die von EHLERS (1958) vorgeschlagene, arbeitet. Er beschränkt sich dabei allerdings auf die Erfassung der höchsten bzw. tiefsten Gestaltabweichungen, die er durch Befeuchtung der Proben und anschließendem Überstreichen mit einer schwarzen Kreide sichtbar macht. Die ermittelten Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung mit der rein visuellen Beurteilung. Ein für die Praxis einfaches Verfahren stellt die von FISCHER/MERKLE (1963) beschriebene Dämpf- und Schleifmethode und die Herstellung und Bewertung von Abriebbildern dar.

Die visuelle Beurteilung der Abriebbilder liefert aber keine objektiven Maßzahlen. Diese Methode eignet sich für eine relativ grobe Einstufung von unbeschichteten Spanplatten, weil sie weniger

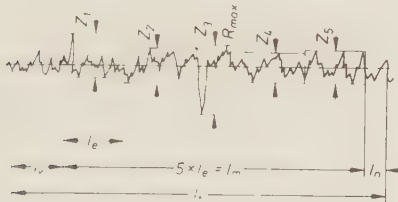
aufwendig ist. Luftstrom-Meßgeräte, die z.B. von LUNDGREN (1959) für die Prüfung von Holzfaserplatten und von KEHR (1966) für die Messung von Spanplattenoberflächen eingesetzt wurden, ergaben für die Beurteilung nur begrenzt vergleichbare Werte. Insbesondere können hier bei rohen Spanplatten Verfälschungen auftreten, da die Porigkeit mitwirkt. Das gleiche gilt für das Pastentestverfahren nach FLEMMING (1957).

Weitere Verfahren zur Beurteilung der Oberflächenqualität von Holz und Holzwerkstoffen sind das Impulstastverfahren nach FORSTER (1944), die Stereo- und Elektronenmikroskopie nach WAGENFÜHR (1969) und die Kontaktanteilmessung nach ROTHKAMM (1970).

Sowohl v. BISMARCK/MEHLHORN (1973) als auch NEUSSER/KRAMES (1967) kommen zum Schluß, daß die Tastschnittverfahren mit Anwendung eines Meßdruckes zu den geeignetsten Verfahren für die Erfassung der Oberflächengestalt von Holzspanplatten zählen. Bei den Untersuchungen an Holz und Holzwerkstoffen wurden derartige Geräte häufig eingesetzt (PAHLITZSCH/DZIOBEK, 1965; DEPPE/ERNST, 1963; KEHR, 1966; KARGER 1970; SIEMINSKI, 1966; v. BISMARCK/MEHLHORN, 1973; GFELLER/REITER, 1978 u.a.).

Die Ursachen für das Entstehen der Rauheit von unbeschichteten Spanplatten (Spancharakter, Anatomie des Holzgefüges, Rohdichteunterschiede im Oberflächenbereich, Schleifbandkörnung u.a.) sind andere als die für das Entstehen der Welligkeit (verzogene Proben, Fehler beim Schleifen). Da in der vorliegenden Arbeit die Rauheit zur Beurteilung der Oberflächengestalt der Deckschicht interessierte, wurde ein elektrisches Tastschnittgerät verwendet, das die Übertragung der Welligkeit durch elektrische Frequenzfilterung weitgehend verhinderte. Dieses von v. BISMARCK/MEHLHORN (1973) weitgehend entwickelte Tastschnittmeßgerät (Bauart Hommel, Tester T) ist für die Oberflächenmessung an unbeschichteten und beschichteten Spanplatten geeignet. Es ermittelt elektronisch die wichtigsten Oberflächengrößen (DIN 4768, Bl. 1). Der Vorteil dieses Tastschnittgeräts ist eine gute Übereinstimmung zwischen den Meßwerten und der visuellen Beurteilung der Oberflächen, wie

Untersuchungen von v. BISMARCK/MEHLHORN (1973) nachweisen konnten. Bei der Oberflächenmessung wurde die gemittelte Rauhtiefe R_z als das arithmetische Mittel aus den Einzelrauhtiefen von fünf aneinander grenzenden Einzelmeßstrecken nach DIN 4768 berechnet (s. Abb. 40).



$$R_z = \frac{\sum Z_i}{5}$$

(i = 1 - 5)

Abb. 40 Berechnung der gemittelten Rauhtiefe R_z aus dem Rauheitsprofil (DIN 4768); Z_{1-5} : Einzelrauhtiefe;
 l_m : Gesamtmeßstrecke; l_e : Einzelmeßstrecke;
 l_n : Nachlaufstrecke; l_t : Taststrecke;
 l_v : Vorlaufstrecke

Die Durchführung der Oberflächenmessungen an den untersuchten Spanplatten erfolgte nach folgenden Bedingungen:

Meßweg	:	250 mm
Abtastgeschwindigkeit	:	2,5 mm/sec
Spitzenradius der Tastnadel	:	ca. 120 μ m

Zur Ermittlung der gemittelten Rauhtiefe R_z wurden je Spanplattenprobe sechs Tastlinien abgefahren, drei auf der Oberseite und drei auf der Unterseite. Die Abtastung verlief im rechten Winkel zu der Schleifrichtung. Aus den sechs gemittelten Rauhtiefewerten wurde dann der arithmetische Mittelwert je Spanplattenprobe errechnet. Die Prüfung der Oberflächenrauheit erfolgte nicht nur nach Klimatisierung im Normalklima sondern auch nach Lagerung in einem Feuchtklima, weil beschichtete Spanplatten auch in Räumen mit hoher Luftfeuchtigkeit eingesetzt werden. Außerdem ist es möglich, daß von

zwei Spanplatten, die bei einer Lagerung im Normalklima verschiedene Oberflächenrauheiten aufweisen, sich die Oberflächenrauheit bei einer Lagerung im Feuchtklima so verändert, daß diejenige, die zuvor im Normalklima die niedrigere Oberflächenrauheit zeigte, sich im Feuchtklima ungünstiger als die andere verhält (v. BISMARCK/MEHLHORN, 1973). Darüber hinaus wurden die verschiedenen Klimata angewendet, um ein holzartenspezifisches Verhalten herauszufinden.

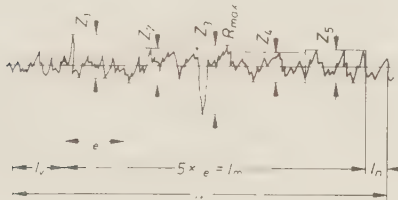
Daher erfolgten an denselben Spanplattenproben Oberflächenmessungen bei Klimatisierung im Normalklima (NK), Feuchtklima (FK) und Rückklimatisierung im Normalklima (RNK).

5.6.3. Oberflächenrauheit der normalklimatisierten Spanplatten

Wie aus der Abb. 41 ersichtlich ist, gibt es holzartenspezifische Unterschiede bei den Rauheitswerten. So zeigen Hainbuche und Rotbuche deutlich höhere R_z -Werte, die sich auch signifikant von den anderen Holzarten unterscheiden. Darüber hinaus zeigt Hainbuche, mit Ausnahme von DS_{35}/Ki_{65} , statistisch gesicherte höhere Rauheitswerte als die Rotbuche. Dagegen weisen Strobe und Schwarzkiefer die niedrigsten Rauheitswerte auf. Zwischen den übrigen DS-Holzarten, abgesehen von Tanne bei DS_{35}/Ki_{65} und DS_{35}/Bu_{65} , kommt es zu keinen statistisch gesicherten Unterschieden. Für die niedrige Rauheit der DS-Holzarten Strobe und Schwarzkiefer sind vermutlich einerseits ihr Naturharzanteil, der zu einer besseren Plastifizierung der Späne im Oberflächenbereich und damit zur Glättung beiträgt, andererseits ihre hohen DS-Rohdichten mit einer verhältnismäßig geschlossenen Oberfläche verantwortlich.

Bei den meisten Spanplattenarten läßt sich kein deutlicher Unterschied der Rauheitswerte zwischen den Deckschichten mit 35 % und 50 % Anteil beobachten. Eine Ausnahme bilden hier die DS-Holzarten Tanne, Eiche und Rotbuche, die bei DS_{35}/Ki_{65} gegenüber DS_{50}/Ki_{50} statistisch gesicherte höhere Werte aufweisen.

Untersuchungen von v. BISMARCK/MEHLHORN (1973) nachweisen konnten. Bei der Oberflächenmessung wurde die gemittelte Rauhtiefe R_z als das arithmetische Mittel aus den Einzelrauhtiefen von fünf aneinander grenzenden Einzelmeßstrecken nach DIN 4768 berechnet (s. Abb. 40).



$$R_z = \frac{\sum Z_i}{5}$$

$$(i = 1 - 5)$$

Abb. 40 Berechnung der gemittelten Rauhtiefe R_z aus dem Rauheitsprofil (DIN 4768); $Z_1 - 5$: Einzelrauhtiefe;
 l_m : Gesamtmeßstrecke; l_e : Einzelmeßstrecke;
 l_n : Nachlaufstrecke; l_t : Taststrecke;
 l_v : Vorlaufstrecke

Die Durchführung der Oberflächenmessungen an den untersuchten Spanplatten erfolgte nach folgenden Bedingungen:

Meßweg	:	250 mm
Abtastgeschwindigkeit	:	2,5 mm/sec
Spitzenradius der Tastnadel	:	ca. 120 μ m

Zur Ermittlung der gemittelten Rauhtiefe R_z wurden je Spanplattenprobe sechs Tastlinien abgefahren, drei auf der Oberseite und drei auf der Unterseite. Die Abtastung verlief im rechten Winkel zu der Schleifrichtung. Aus den sechs gemittelten Rauhtiefewerten wurde dann der arithmetische Mittelwert je Spanplattenprobe errechnet. Die Prüfung der Oberflächenrauheit erfolgte nicht nur nach Klimatisierung im Normalklima sondern auch nach Lagerung in einem Feuchtklima, weil beschichtete Spanplatten auch in Räumen mit hoher Luftfeuchtigkeit eingesetzt werden. Außerdem ist es möglich, daß von

zwei Spanplatten, die bei einer Lagerung im Normalklima verschiedene Oberflächenrauheiten aufweisen, sich die Oberflächenrauheit bei einer Lagerung im Feuchtklima so verändert, daß diejenige, die zuvor im Normalklima die niedrigere Oberflächenrauheit zeigte, sich im Feuchtklima ungünstiger als die andere verhält (v. BISMARCK/MEHLHORN, 1973). Darüber hinaus wurden die verschiedenen Klimata angewendet, um ein holzartenspezifisches Verhalten herauszufinden.

Daher erfolgten an denselben Spanplattenproben Oberflächenmessungen bei Klimatisierung im Normalklima (NK), Feuchtklima (FK) und Rückklimatisierung im Normalklima (RNK).

5.6.3. Oberflächenrauheit der normalklimatisierten Spanplatten

Wie aus der Abb. 41 ersichtlich ist, gibt es holzartenspezifische Unterschiede bei den Rauheitswerten. So zeigen Hainbuche und Rotbuche deutlich höhere R_z -Werte, die sich auch signifikant von den anderen Holzarten unterscheiden. Darüber hinaus zeigt Hainbuche, mit Ausnahme von DS_{35}/Ki_{65} , statistisch gesicherte höhere Rauheitswerte als die Rotbuche. Dagegen weisen Strobe und Schwarzkiefer die niedrigsten Rauheitswerte auf. Zwischen den übrigen DS-Holzarten, abgesehen von Tanne bei DS_{35}/Ki_{65} und DS_{35}/Bu_{65} , kommt es zu keinen statistisch gesicherten Unterschieden. Für die niedrige Rauheit der DS-Holzarten Strobe und Schwarzkiefer sind vermutlich einerseits ihr Naturharzanteil, der zu einer besseren Plastifizierung der Späne im Oberflächenbereich und damit zur Glättung beiträgt, andererseits ihre hohen DS-Rohdichten mit einer verhältnismäßig geschlossenen Oberfläche verantwortlich.

Bei den meisten Spanplattenarten läßt sich kein deutlicher Unterschied der Rauheitswerte zwischen den Deckschichten mit 35 % und 50 % Anteil beobachten. Eine Ausnahme bilden hier die DS-Holzarten Tanne, Eiche und Rotbuche, die bei DS_{35}/Ki_{65} gegenüber DS_{50}/Ki_{50} statistisch gesicherte höhere Werte aufweisen.

Es gibt keinen statistisch gesicherten Unterschied der Oberflächenrauheit in Abhängigkeit von den MS-Holzarten.

5.6.4. Oberflächenrauheit der feuchtklimatisierten Spanplatten

Wie zuvor schon bei Normalklima beschrieben, weisen die Hainbuche und die Rotbuche auch im Feuchtklima statistisch gesicherte höhere Oberflächenrauheiten als die übrigen Holzarten auf. Analog zum Normalklima erreicht die Hainbuche auch im Feuchtklima noch höhere Werte als die Rotbuche (s. Abb. 41). Ebenso kommt es bei der Strobe auch in diesem Feuchtigkeitsbereich wieder zum niedrigsten Rauheitswert. Zwischen den übrigen DS-Holzarten Tanne, Eiche, Schwarzkiefer und Pappel gibt es nur teilweise gesicherte, aber nicht eindeutige Unterschiede. Nicht zu erklären sind die hohen Rauheitswerte der Schwarzkiefer bei DS_{35}/Ki_{65} und der Eiche bei DS_{35}/Ki_{65} und DS_{50}/Ki_{50} . Wie die Deckschichten aus Strobe, weisen auch die der Schwarzkiefer keine extrem hohen Rauheitswerte auf. Im Gegensatz dazu fanden NEUSSER/KRAMES/ZENTNER (1969) bei Kiefer - im Vergleich zu anderen Holzarten - höhere Rauheitswerte, die sie auf das splittrige Spätholz dieser Holzart zurückführen.

Bei den meisten Holzarten läßt sich beobachten, daß sich bei einem DS-Anteil von 35 % höhere Rauheitswerte als bei einem 50 %-igen DS-Anteil zeigen. So weisen z.B. Spanplatten mit den DS-Holzarten Strobe, Schwarzkiefer, Rotbuche, Pappel und Eiche und einer Kiefern-MS bei einem 35 %-igen DS-Anteil eine statistisch gesicherte höhere Rauheit als bei einem 50 %-igen DS-Anteil auf. Die durchgeführten Rauheitsmessungen bestätigen die in der Literatur zu findende Aussage (NEUSSER, 1963; KEHR/JENSEN, 1970;), daß sich die Oberflächenrauheit mit steigender Rohdichte der DS bei Feuchteeinwirkung verschlechtert. Daß sich aus dieser Tendenz nicht die Rauheitsunterschiede zwischen den DS-Holzarten erklären lassen, ist auf den Einfluß ihres holzspezifischen Verhaltens zurückzuführen. So kann es sein, daß die Rauheit der Deckschichten einzelnen Holzarten durch den anatomischen Aufbau, den Harzanteil, den Gerbstoffgehalt, die Fraktionszusammensetzung, die Quellung

der einzelnen Späne u.a. nicht in gleicher Weise beeinflusst wird.

Was den Einfluß der Holzart der Mittelschicht auf die Oberflächenrauheit anbelangt, gibt es einzelne gesicherte Unterschiede zwischen den Spanplattenarten. So zeigen z.B. Spanplatten mit Deckschichten aus Eiche und Schwarzkiefer mit einem DS-Anteil von 35 % statistisch gesicherte höhere Rauheitswerte bei Kiefern-MS als solche mit Rochbuchen-MS, während entsprechende Spanplatten mit Stroben-DS die umgekehrte Erscheinung aufweisen. Rotbuche und Strobe mit 50 % DS-Anteil und Rotbuchen-MS weisen im Vergleich zu entsprechenden Spanplatten mit Kiefern-MS statistisch gesicherte höhere Rauheiten auf, während Tanne bei diesem Vergleich die entgegengesetzte Tendenz zeigt.

Es gibt eine Übereinstimmung zwischen den Rauheitswerten der Deckschichten der verschiedenen Holzarten und der Feuchtigkeitsänderung ihrer Deckschichten im Feuchtklima (vgl. Abb. 34 u. Abb. 41). Dagegen wird eine Parallelität zwischen den Rauheiten der Deckschichten und ihrer Dickenänderung bei den meisten DS-Holzarten vermißt (vgl. Abb. 35 u. 41). So zeigt z.B. die Strobe trotz einer hohen DS-Dickenänderung die niedrigste Rauheit, und die Eiche, obwohl sie die niedrigste Dickenänderung aufweist, nicht den niedrigsten Rauheitswert.

5.6.5. Oberflächenrauheit der rückklimatisierten Spanplatten

Wie die Abb. 41 zeigt und die statistische Auswertung bestätigt, weisen auch nach Rückklimatisierung die Deckschichten aus Strobe die niedrigsten und die aus Hainbuche und Rotbuche die höchsten Rauheitswerte im Vergleich zu den übrigen DS-Holzarten auf. Von den beiden DS-Holzarten Rotbuche und Hainbuche hat die letztere eine höhere Rauheit, die aber nur bei der Rotbuchen-MS gesichert ist. Zwischen den übrigen DS-Holzarten kommt es nur bei DS₃₅/Ki₆₅ zu einem signifikanten Unterschied, wobei Oberflächen aus Eiche

und Pappel weniger rauh sind als die aus Tanne und Schwarzkiefer.

Der Einfluß der MS-Holzart auf die Rauheit der DS ist nicht eindeutig. So zeigen Spanplatten mit Deckschichten aus Tanne und Schwarzkiefer und einem 35 %-igen DS-Anteil bei einer Kiefern-MS höhere Rauheiten als die entsprechenden Spanplatten mit einer Rotbuchen-MS. Dagegen zeigen sowohl die Deckschichten aus Strobe mit 50 % Anteil als auch die aus Hainbuche mit einem 35 %-igen und 50 %-igen Anteil, wenn als MS Rotbuche verwendet wurde, eine höhere Rauheit als wenn die MS aus Kiefer bestand.

Ein Vergleich der Rauheit der Deckschichten mit 35 % Anteil mit den Deckschichten mit 50 % Anteil (bei Verwendung der selben MS-Holzart) führt nur bei Kiefern-MS zu einer Reihe von statistisch gesicherten Unterschieden. So zeigen die DS-Holzarten Tanne, Strobe, Schwarzkiefer, Eiche und Rotbuche - bei einem 35 %-igen gegenüber einem 50 %-igen DS-Anteil - eine höhere Rauheit.

Aus der Abb. 41 ist zu erkennen, daß die Oberflächenrauheit der rückklimatisierten Spanplatten erwartungsgemäß höher liegt als die der normalklimatisierten, aber niedriger als die der feuchtklimatisierten. Die Unterschiede sind auf den unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalt der Spanplatten in diesen Klimazuständen zurückzuführen (vgl. Abschn. 5.6.6.), denn der unterschiedliche Feuchtigkeitsgehalt der DS beeinflußt den Quellungsgrad der DS-Späne und damit die Rauheit der DS-Oberflächen.

Ein Vergleich des Verhaltens der Spanplattenarten während der Wechselklimalagerung läßt nur geringfügige Unterschiede erkennen. Für die Beurteilung des Oberflächenverhaltens der eingesetzten Holzarten ist es wichtig, zu wissen, in welchem Ausmaß eine Feuchtlagerung mit anschließender Rückklimatisierung die Oberflächenrauheit verändert, bzw. inwieweit nach einer Feuchtlagerung bei einigen Holzarten relative Verbesserungen in der Oberflächenrauheit zu beobachten sind. So zeigen z.B. Eichen-

Deckschichten ein relativ besseres Verhalten im FK und RNK im Vergleich zu den Deckschichten der übrigen Holzarten. Dagegen nehmen Deckschichten aus Schwarzkiefer gegenüber denen aus anderen Holzarten eine schlechtere Position im FK und RNK als im NK ein.

Die Verschiebungen in der Oberflächenrauheit zwischen den DS-Holzarten werden durch die Berechnung der prozentualen Erhöhung nach Feucht- und Rückklimatisierung, bezogen auf die Oberflächenrauheit im Normalklima, verdeutlicht (s. Tab. 16 u. Tab. 17).

Es ist auffällig, daß die prozentuale Erhöhung der Rauheitswerte der Deckschichten aus Nadelhölzern, von einigen Ausnahmen abgesehen, sowohl im FK als auch im RNK größer ist als die der Deckschichten aus Laubhölzern. Dies ist vermutlich auf die sehr unterschiedliche Quellung des Spät- und Frühholzes der Nadelhölzer zurückzuführen (VINTILA, 1939).

Sowohl zwischen den Nadelhölzern als auch zwischen den Laubhölzern gibt es keine eindeutigen Unterschiede bei der prozentualen Erhöhung der Rauheitswerte im FK und RNK.

Tab. 16 Prozentuale Erhöhung der Rauheitswerte der Span-
plattenarten mit Deckschichten aus Nadelhölzern
im Feuchtklima (FK) und nach Rückklimatisierung
im Normalklima (RNK), bezogen auf die Rauheits-
werte im Normalklima

Holzart der Deckschicht	Holzart und Anteil der Mittelschicht	FK (%)	RNK (%)
Tanne	Ki ₆₅	59,3	36,1
	Ki ₅₀	80,1	35,2
	Bu ₆₅	54,2	25,1
	Bu ₅₀	62,2	31,7
Strobe	Ki ₆₅	62,8	34,8
	Ki ₅₀	51,2	21,5
	Bu ₆₅	73,3	36,5
	Bu ₅₀	73,3	32,5
Schwarz- kiefer	Ki ₆₅	97,8	55,4
	Ki ₅₀	67,9	37,0
	Bu ₆₅	70,6	40,2
	Bu ₅₀	61,1	33,0

Tab. 17 Die prozentuale Erhöhung der Rauheitswerte der Spanplattenarten mit Deckschichten aus Laubhölzern im Feuchtklima (FK) und nach Rückklimatisierung im Normalklima (RNK), bezogen auf die Rauheitswerte im Normalklima

Holzart der Deckschicht	Holzart und Anteil der Mittelschicht	FK (%)	RNK (%)
Pappel	Ki ₆₅	49,7	19,6
	Ki ₅₀	46,1	22,1
	Bu ₆₅	59,1	30,3
	Bu ₅₀	55,8	30,5
Hain- buche	Ki ₆₅	53,7	20,8
	Ki ₅₀	48,6	17,9
	Bu ₆₅	41,5	24,6
	Bu ₅₀	44,3	24,1
Eiche	Ki ₆₅	60,0	21,7
	Ki ₅₀	59,3	21,8
	Bu ₆₅	40,5	23,1
	Bu ₅₀	42,4	21,5
Rot- buche	Ki ₆₅	46,9	24,2
	Ki ₅₀	48,6	27,4
	Bu ₆₅	43,9	23,1
	Bu ₅₀	49,3	28,3

5.6.6. Feuchtigkeitsgehalt der Deckschichten und der Mittelschicht der Versuchsspanplatten nach verschiedener Klimatisierung bis zum hygroskopischen Gleichgewicht

Um die möglichen Unterschiede zwischen dem hygroskopischen Verhalten der Deck- und Mittelschicht der Spanplatten zu ermitteln, wurden die Gleichgewichtsfeuchtigkeitsbeträge von sämtlichen in Tab. 12 aufgeführten Spanplattenarten bei Feuchtigkeitsaufnahme (Adsorption) und Feuchtigkeitsabgabe (Desorption) im Normalklima (20/65) sowie bei Adsorption im Feuchtklima (20/90) - jeweils getrennt nach Deckschichten, Mittelschicht und zum Vergleich auch für den gesamten Spanplattenquerschnitt - bestimmt. Die Mittelwerte der für die 28 Spanplattenarten erhaltenen Einzelergebnisse sind in Tab. 18 zusammengestellt.

Tab. 18 Mittlere Gleichgewichtsfeuchtigkeitsbeträge der Deckschichten, der Mittelschicht und des gesamten Spanplattenquerschnitts der untersuchten 28 Spanplattenarten

Klimatisierung		Mittlerer Gleichgewichtsfeuchtigkeitsgehalt (%)		
		Deckschichten	Mittelschicht	Gesamter Spanplattenquerschnitt
Normalklima (20/65)	$\bar{x}$	9,3	12,9	11,1
Adsorption	v	7,60	3,92	2,44
	N	28	28	28
Normalklima Desorption (20/90→20/65)	$\bar{x}$	11,9	15,3	13,7
	v	4,64	2,62	3,85
	N	28	28	28
Feuchtklima (20/90)	$\bar{x}$	18,3	21,0	19,5
Adsorption	v	6,03	2,02	3,08
	N	28	28	28

Wie aus Tab. 18 zu ersehen ist, hat die Mittelschicht eine deutlich höhere Gleichgewichtsfeuchtigkeit als die Deckschicht. Dementsprechend liegt die Gleichgewichtsfeuchtigkeit des gesamten Spanplattenquerschnitts zwischen diesen Werten. Dies ist wahrscheinlich auf den unterschiedlichen Festharzanteil von 12 % in der Deckschicht und 8 % in der Mittelschicht zurückzuführen. So fand PERKITNY/SZYMANKIEWICZ (1963) bei Sorptionsversuchen bei 20°C eine höhere Adsorption nativen Kiefernholzes gegenüber Spanplatten aus Kiefer. Auch Sorptionsversuche bei 25°C zeigten eine höhere Adsorption von unbehandelten Fichtenspänen als die Spanplatten aus Fichtenspänen (SEIFERT, 1972). Weiterhin ist aus Tab. 18 zu entnehmen, daß auch, wie früher schon von WEICHERT, (1963), PERKITNY/SZYMANKIEWICZ (1963), CARRÉ (1964) und SEIFERT (1972) festgestellt wurde, bei Holzspanplatten eine deutliche Sorptionshysterese auftritt.

6. ZUSAMMENFASSUNG

In den letzten Jahren hat die Oberflächenveredelung von Spanplatten immer mehr an Bedeutung gewonnen. Gleichzeitig stiegen die Anforderungen an die Deckschichten unbeschichteter Spanplatten. Von der Spanplattenindustrie der BRD werden als Deckschichten meistens die Holzarten Fichte, Tanne, Kiefer und teilweise auch Rotbuche verwendet.

Um einerseits die Eignung verschiedenartiger Holzarten als Deckschichtmaterial für Spanplatten besser beurteilen und andererseits auch Möglichkeiten einer Erweiterung der Rohstoffbasis für die Deckschichten von Spanplatten aufzeigen zu können, wurden in der vorliegenden Arbeit sieben Holzarten ausgesucht, die sich deutlich in ihren mechanischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften unterschieden. Als Deckschicht-Holzarten wurden von den Nadelhölzern Strobe, Tanne und Schwarzkiefer und von den Laubhölzern Pappel, Eiche, Rotbuche und Hainbuche ausgewählt.

Als weitere Herstellungsvarianten wurden zwei Deckschicht-Mittelschicht-Anteile im Verhältnis 35 % : 65 % und 50 % : 50 % verwendet, um feststellen zu können, ob der Deckschicht- bzw. Mittelschichtanteil die Qualität der Deckschichten beeinflusst.

Darüber hinaus wurden für die Mittelschicht der untersuchten Spanplatten Kiefer und Rotbuche ausgewählt, weil diese beiden Holzarten in der Spanplattenindustrie der BRD diejenigen sind, die für diesen Zweck am häufigsten verwendet werden und daher in der vorliegenden Arbeit ermittelt werden sollte, inwieweit diese sich auf die verschiedenen Spanplatteneigenschaften unterschiedlich auswirken.

Für diese Untersuchung wurden aus 28 Spanplattenarten insgesamt 84 Spanplatten hergestellt.

Die Versuche führten zu folgenden Ergebnissen:

1. Bei der Zerspanung der verwendeten Holzarten traten keinerlei Schwierigkeiten auf, abgesehen von Strobe und Pappel, bei denen sich während des Zerspanungsvorgangs Faserbündel um die

Messerschneide legten, und dadurch die weitere Zerspanung erschwert wurde. Während diese Erscheinung bei der Pappel aus der Literatur bekannt ist und auf das vorhandene Zugholz zurückgeführt wird, ist sie bei der Zerspanung der Strobe unbekannt.

2. a) Die Fraktionszusammensetzung der Späne aus Rotbuche, Hainbuche und Eiche, die für die Deckschichten verwendet wurden, weist, im Gegensatz zu den übrigen Holzarten der Deckschicht, vor der Beleimung einen höheren Anteil an den Fraktionen $< 0,3 \text{ mm}$ und $> 0,3 \text{ mm} < 0,6 \text{ mm}$ gegenüber den übrigen Deckschicht-Holzarten auf. Ein Vergleich der Fraktionszusammensetzung der oben erwähnten Laubhölzer zeigt nur unbedeutende Unterschiede, zum selben Ergebnis führte ebenso der Vergleich der Fraktionszusammensetzung der Nadelhölzer. Im Vergleich zu den übrigen Holzarten weisen die Deckschicht-Späne der Pappel einen besonders hohen Anteil an den Fraktionen $> 1,5 \text{ mm}$ und $> 1,0 \text{ mm} < 1,5 \text{ mm}$ auf, weil sie aufgrund ihrer ausgefranst Enden die für sie entsprechende Siebmaschenweite nicht mehr passieren können. Die Unterschiede in der Fraktionszusammensetzung zwischen den Deckschicht-Holzarten werden infolge einer Nachzerkleinerung, die während der Beleimung stattfindet, verringert. Eine Ausnahme bilden die Deckschicht-Späne aus Rotbuche, die nach der Beleimung einen extrem hohen Anteil an der Fraktion $< 0,3 \text{ mm}$ aufweisen. Bei der Nachzerkleinerung während der Beleimung zeigt sich, daß die Länge der Deckschicht-Späne der verwendeten Holzarten stärker als ihre Breite verringert wird. Ein gegensätzliches Verhalten zeigen jedoch die Deckschicht-Späne der Hainbuche, die nämlich in ihrer Breite stärker als in ihrer Länge abnehmen.
- b) Übereinstimmend mit Ergebnissen aus der Literatur zeigt die Fraktionszusammensetzung der Mittelschicht-Späne der Kiefer und der Rotbuche keinen bedeutenden Unterschied.

3. a) Die Dicke der Deckschichtspäne der sieben Holzarten unterscheidet sich nicht voneinander, obwohl dies infolge der unterschiedlichen Holzstruktur der untersuchten Holzarten zu erwarten gewesen wäre. Dies könnte darauf zurückgeführt werden, daß Dickenunterschiede aufgrund des beim Zerspanen gewählten geringen Schneidmesserüberstands von 0,20 mm ausgeglichen werden.
 - b) Die Mittelschichtspäne der Rotbuche weisen eine niedrigere Dicke als die der Kiefer auf, weil die Späne der Rotbuche beim Zerspanen - im Gegensatz zu den Kiefern-Spänen - geringer gestaucht werden, was aus der Literatur bekannt ist.
-
4. a) Das Schüttgewicht der Deckschicht-Späne der meisten Holzarten hängt sowohl vor als auch nach der Beleimung wesentlich von der Rohdichte dieser Holzarten ab. Im Gegensatz dazu ist aber das Schüttgewicht der Deckschicht-Späne aus Pappel vor der Beleimung niedriger als es aufgrund ihrer Rohdichte zu erwarten wäre. Wahrscheinlich wird der Einfluß der Rohdichte durch den faserigen und wolligen Charakter der Pappeln-Späne, die während der Schüttung mehr Volumen beanspruchen, überlagert. Dagegen ist das Schüttgewicht der Eichen-Späne vor der Beleimung im Verhältnis zur Eichen-Holzrohichte unerwartet hoch. Bei der Hainbuche findet sich die genau umgekehrte Erscheinung. Hier zeigt sich nämlich, daß das Schüttgewicht ihrer Späne im Verhältnis zu ihrer Rohdichte vor und nach der Beleimung unerwartet niedrig ist. Bei beiden Holzarten ist anzunehmen, daß der Einfluß der Rohdichte auf das Schüttgewicht der Späne durch andere Einflußfaktoren, wie z.B. die Form der Späne, die Beschaffenheit der Spanoberfläche, u.a. überlagert wird.
 - b) Das Schüttgewicht der Mittelschichtspäne aus Rotbuche ist sowohl vor als auch nach der Beleimung etwas höher als das der Kiefernspäne.

5. a) Deckschichtspäne aus Eiche, Hainbuche und Rotbuche zeigen sowohl vor als auch nach der Beleimung, was auch aufgrund ihrer höheren Schüttgewichte zu erwarten ist, eine niedrigere Kompressibilität als diejenigen aus Schwarzkiefer, Tanne, Pappel und Strobe.
 - b) Im Gegensatz zum Verhalten der Deckschichtspäne weisen Mittelschichtspäne aus Rotbuche sowohl vor als auch nach der Beleimung eine höhere Kompressibilität als die der Kiefer auf.
-
6. a) Wie es aufgrund der Ergebnisse der Kompressibilitäts-Bestimmung zu erwarten war, liegt die Verdichtungsgeschwindigkeit beim Pressen der Spanmatten mit Deckschichten aus den leichten Holzarten (Strobe, Schwarzkiefer, Pappel und Tanne) höher als die der schweren Holzarten (Eiche, Rotbuche und Hainbuche). Die meisten Spanmatten mit einem Deckschicht-Anteil von 35 % zeigen eine niedrigere Verdichtungsgeschwindigkeit als diejenigen von 50 %. Eindeutige Unterschiede lassen sich aber nur bei den Spanmatten mit einer Rotbuchen-Mittelschicht und den Deckschicht-Holzarten Tanne und Rotbuche erkennen.
 - b) Übereinstimmend mit den Kompressibilitätsergebnissen der beiden Mittelschicht-Holzarten zeigt ein Vergleich ihrer Verdichtungsgeschwindigkeit, daß die Kiefer eine langsamere Verdichtungsgeschwindigkeit aufweist.
-
7. a) Die Deckschichten der Nadelhölzer weisen eine höhere Rohdichte auf als die der Laubhölzer. Von den Laubhölzern weist die Eiche und von den Nadelhölzern die Strobe und die Schwarzkiefer die höchste Deckschicht-Rohdichte auf. Spanplatten mit einem Deckschichtanteil von 35 % zeigen eine höhere Deckschicht-Rohdichte als diejenigen mit einem 50 %-igen Anteil.

- b) Die Rohdichte der Mittelschichten ist bei den hierfür verwendeten Holzarten Kiefer und Rotbuche bei einem 65 %-igen Mittelschicht-Anteil höher als bei einem 50 %-igen, wobei die Rotbuche sowohl beim Mittelschicht-Anteil von 65 % als auch von 50 % eine höhere Rohdichte als die Kiefer aufweist.
8. Da bei der Prüfung der Querkzugfestigkeit die Mittelschichten der Rotbuche eine wesentlich höhere Querkzugfestigkeit aufwiesen, wurden zusätzlich makroskopische Beobachtungen an den Bruchflächen der Spanplattenproben durchgeführt. Hierbei zeigte sich, daß bei den Mittelschichten der Rotbuche ein besserer Kontakt zwischen Spänen und Leim bestand als bei den Kiefern-Mittelschichten, was vermutlich auf die höhere Kompressibilität der Mittelschicht-Späne der Rotbuche zurückzuführen ist. Mittelschichten mit einem 65 %-igen Anteil zeigen im Vergleich zu denen mit 50 % Anteil keine Unterschiede in der Querkzugfestigkeit.
9. Spanplatten mit einer Deckschicht aus Tanne zeigen die höchste Biegefestigkeit, während die aus Strobe und Rotbuche die niedrigsten Biegefestigkeiten aufweisen und die Werte der Biegefestigkeit der übrigen Deckschicht-Holzarten dazwischen liegen. Spanplatten mit einer Rotbuchen-Mittelschicht zeigen bei einem Deckschicht-Anteil von 50 % eine höhere Biegefestigkeit als bei einem 35 %-igen Deckschicht-Anteil. Diese Erscheinung zeigt sich bei sämtlichen Deckschicht-Holzarten außer bei der Schwarzkiefer. Diese höhere Biegefestigkeit beim 50 %-igen Deckschicht-Anteil konnte nicht beobachtet werden, wenn als Mittelschicht Kiefer verwendet wurde. Spanplatten mit einer Rotbuchen-Mittelschicht erzielen eine höhere Biegefestigkeit als die mit einer Mittelschicht aus Kiefer.
10. Spanplatten mit Deckschichten aus Eiche, Hainbuche und Rotbuche zeigen eine höhere Abhebefestigkeit, eine niedrigere dage-

ger die aus Strobe und Pappel, während die übrigen Deckschicht-Holzarten eine Zwischenstellung einnehmen. Erstaunlicherweise läßt zwischen den beiden Deckschicht-Anteilen von 35 % und 50 % kein Unterschied in der Abhebefestigkeit feststellen.

11. a) Die Deckschichten der Holzarten Hainbuche und Rotbuche zeigen bei Lagerung im Feuchtklima ($20^{\circ}\text{C}/90\% \text{ r.L.}$) die größte Feuchtigkeitsänderung (hiermit ist die Feuchtigkeitszunahme gemeint), die geringste dagegen wurde bei Strobe gemessen, die Feuchtigkeitszunahme der übrigen Deckschicht-Holzarten liegt zwischen den oben genannten Extremwerten. Zwischen den beiden Deckschicht-Anteilen von 35 % und 50 % zeigen sich Unterschiede in der Feuchtigkeitszunahme, wobei die Deckschichten mit 35 % Anteil die höhere Zunahme aufweisen.
 - b) Von den beiden Mittelschicht-Holzarten zeigt die Rotbuche bei Lagerung im Feuchtklima eine höhere Feuchtigkeitsänderung als die Kiefer.
-
12. a) Die stärkste Dickenänderung, womit die Dickenzunahme gemeint ist, in einem Feuchtklima ($20^{\circ}\text{C}/90\% \text{ r.L.}$) haben die Deckschichten der Holzarten Strobe, Hainbuche und Rotbuche, dagegen weisen Eiche und Pappel die niedrigste Zunahme auf. Während die äußerst hohe Dickenänderung der Deckschichten der Holzarten Hainbuche und Rotbuche aufgrund der starken Quellung und Schwindung ihres Massivholzes erwartet werden konnte, überrascht dagegen die sehr hohe Dickenänderung der Stroben-Deckschichten, was im Gegensatz zur Quellung und Schwindung ihres Massivholzes steht. Eine Erklärung für diese Erscheinung ist wahrscheinlich die starke Rückfederung, die die Deckschichten dieser leichten Holzart infolge ihrer hohen Rohdichte aufweisen. Die niedrigste Dickenzunahme der Eichen-Deckschichten ist mit dem hohen Gerbstoffgehalt dieser Holzart zu

- erklären. Ein Vergleich der beiden Deckschichten (mit 35 % und 50 % Anteil) nach der Feuchteaufnahme zeigt, daß die Deckschichten mit 35 % Anteil eine wesentlich größere Dickenzunahme als die mit 50 % Anteil aufweisen.
- b) Obwohl von den beiden Mittelschicht-Holzarten bei Lagerung im Feuchtklima die Rotbuche eine höhere Feuchtigkeitsänderung als die Kiefer zeigt, kann bei diesen beiden Holzarten im Feuchtklima kein Unterschied in der Dickenzunahme nachgewiesen werden.
13. Der gesamte Spanplattenquerschnitt weist nach der Feuchtelagerung bei der Feuchtigkeits- und Dickenänderung höhere Werte als die Mittelschicht der Spanplatte, aber niedrigere Werte als die Spanplatten-Deckschicht auf.
14. Bei der Feuchtigkeits- und Dickenänderung der Deckschicht durch Wasseraufnahme über die Spanplattenoberfläche zeigen sich bei den Deckschicht-Holzarten Rotbuche, Schwarzkiefer und Hainbuche höhere Werte als bei Tanne, Eiche und Strobe.
15. Nach der Klimatisierung im Normalklima ($20^{\circ}\text{C}/65\% \text{ r.L.}$), im Feuchtklima ($20^{\circ}\text{C}/90\% \text{ r.L.}$) und Rückklimatisierung im Normalklima ($20^{\circ}\text{C}/90\% \text{ r.L.} \rightarrow 20^{\circ}\text{C}/65\% \text{ r.L.}$) hat der gesamte Spanplattenquerschnitt einen höheren Feuchtigkeitsgehalt als die Deckschicht der Spanplatte, aber einen niedrigeren als die Spanplatten-Mittelschicht. Nach der Rückklimatisierung im Normalklima zeigen sowohl der gesamte Spanplattenquerschnitt als auch die einzelnen Schichten wegen der Sorptionshysterese einen höheren Feuchtigkeitsgehalt als die nur im Normalklima gelagerten Proben.
16. Nahezu in Übereinstimmung mit ihrer Feuchtigkeitszunahme bei der Lagerung im Feuchtklima ($20^{\circ}\text{C}/90\% \text{ r.L.}$) weisen die Deckschichten aus Hainbuche und Rotbuche die höchste, dagegen die aus Strobe die niedrigste Oberflächenrauheit auf, was

angesichts der hohen Dickenänderung dieser Deckschicht-Holzart überrascht. Zwischen den anderen DS-Holzarten lassen sich keine Unterschiede in ihrer Oberflächenrauheit feststellen. Unter Berücksichtigung des verhältnismäßig groben anatomischen Aufbaus der Eiche (große Gefäße), wurde bei dieser Holzart eine relativ gute Oberflächenrauheit gemessen. Im Gegensatz zu den Feststellungen in der Literatur, wonach die Kiefer aufgrund ihres großen Rohdichte-Unterschiedes zwischen Früh- und Spätholz als Deckschichtmaterial für eine ruhige Spanplattenoberfläche nicht geeignet ist, wurde bei der Schwarzkiefer eine relativ gute Oberflächenruhe festgestellt. Es wurde weiterhin festgestellt, daß weder die beiden Deckschicht-Anteile (35 % und 50 %) noch die beiden Mittelschicht-Holzarten (Kiefer und Rotbuche) einen Einfluß auf die Oberflächenrauheit haben, was vermutlich auf eine Überlagerung durch andere Einfluß-Faktoren (wie z.B. materialbedingte Unterschiede innerhalb derselben Holzart, Rohdichte-Profil der Deckschichten, Holzstruktur der Deckschicht-Holzarten u.a.) zurückgeführt wird. Die Oberflächenrauheit der rückklimatisierten Spanplatten ist erwartungsgemäß höher als die der normalklimatisierten Spanplatten, aber niedriger als die der feuchtklimatisierten.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß von den gewählten Herstellungsverfahren (sieben Deckschicht-Holzarten, zwei Deckschicht-Mittelschicht-Verhältnisse und zwei Mittelschicht-Holzarten) die Holzart, die für die Deckschicht verwendet wird, die Qualität der Deckschicht am stärksten beeinflusst. Die Deckschicht-Mittelschicht-Verhältnisse und die Holzarten der Mittelschicht bewirken zwar eine unterschiedliche Rohdichteverteilung im Spanplattenquerschnitt, was aber die Deckschichtqualität und andere Spanplatteneigenschaften nur geringfügig zu beeinflussen scheint.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- | | | |
|--------------------------------|-------|---|
| ANONYMUS | 1977: | 1976 60 Kilogramm Spanplatten
pro Kopf in der BRD
Bau- und Möbelschreiner, Nr. 2,
S. 73 - 78 |
| BISMARCK, C.v.
MEHLHORN, L. | 1973: | Untersuchungen über die Bewertung
der Oberflächenbeschaffenheit von
unbeschichteten und beschichteten
Spanplatten
Bericht Nr. 1, Wilhelm-Klauditz-
Institut für Holzforschung, Braun-
schweig |
| BISMARCK, C.v. | 1974: | Zur Optimierung des Spanplatten-
pressens. Herstellung harnstoff-
harzverleimter Spanplatten unter
Anwendung spezieller Regelsysteme
beim Pressen
Holz-Zentralblatt, Nr. 80, S. 1247 -
1249 |
| BISMARCK, C.v. | 1975: | Tendenzen der Oberflächenverede-
lung im Möbel und Innenausbau.
Verbraucherverhalten und techni-
sche Entwicklung
Die Holzbearbeitung, Nr. 6, S. 15-16 |
| BONNEMANN, A. | 1975: | Einige kennzeichnende Eigenschaften
des Pappelholzes
Die Holzzucht, Heft 4, S. 17 - 23 |
| BREMEN | 1964: | Spänesortierung
FESYP (Europäische Föderation der
Verbände der Spanplattenindustrie)
12. Sitzung der Technischen Kom-
mission, S. 2 - 6 |
| BRUMBAUGH, J. | 1960: | Effect of flake dimensions on pro-
perties of paricle boards
Forest Products Journal, Nr. 5,
S. 243 - 246 |
| BRYAN, E.
SCHNIEWIND, A. | 1965: | Strength and rheological properties
of paricleboard as affected by moi-
sture content and sorption
Forest Products Journal, Nr. 4
S. 143 - 148 |

- | | | |
|---|-------|--|
| BURGER, H. | 1951: | Holz, Blattmenge und Zuwachs
XI. Mitteilung. Die Tanne. Mitt.
schweiz. Anst. f. das forstl. Ver-
suchswesen XXVII. B Zürich, Kom-
missionsverlag von Beer & Cie. |
| BUSCHBECK, L.
KEHR, E.
JENSEN, U. | 1961: | Untersuchungen über die Eignung
verschiedener Holzarten und Sorti-
mente zur Herstellung von Spanplat-
ten.
1. Mitteilung: Rotbuche und Kiefer
Holztechnologie, Heft 2; S. 99 - 110 |
| CARRÉ, J. | 1964: | Untersuchung über das Stehvermögen
von Spanplatten in Abhängigkeit vom
Feuchtigkeitsgehalt und der Luft-
temperatur
FESYP (Europäische Föderation der
Verbände der Spanplattenindustrie),
13. Sitzung der Technischen Kom-
mission |
| CARRÉ, J. | 1973: | Beeinflussung der Spanplatteneigen-
schaften durch die Spandicke
FESYP (Europäische Föderation der
Verbände der Spanplattenindustrie),
29. Sitzung der Technischen Kom-
mission, S. 22 - 29 |
| CARRÉ, J. | 1975: | Das Quellverhalten von Spanplatten
in feuchter Luft und bei Wasserla-
gerung in Abhängigkeit von der
Plattenstruktur
FESYP (Europäische Föderation der
Verbände der Spanplattenindustrie),
34. Sitzung der Technischen Kom-
mission, S. 24 - 32 |
| CHEN, T.-y. | 1975: | Untersuchungen über die Eigen-
schaften von Spänen und Spanplat-
ten aus Hackschnitzeln
Diss. Forstliche Fakultät Göttingen |
| DAVID, A.
HARTLEY, O.
PEARSON, S. | 1954: | The distribution of the ratio, in
normal sample, of range to stan-
dard deviation
Biometrika 41, S. 482 - 493 |
| DEPPE, H.-J.
ERNST, K. | 1963: | Zur Messung der Oberfläche von
Spanplatten
Holz als Roh- und Werkstoff, Heft 4,
S. 129 - 132 |

- | | | |
|---------------------------|----------|---|
| DEPPE, H.-J.
ERNST, K. | 1964: | Technologie der Spanplatten
DRW-Verlag, Stuttgart |
| DEPPE, H.-J.
ERNST, K. | 1967: | Verarbeitung der Spanplatten
DRW-Verlag, Stuttgart |
| DEPPE, H.-J.
ERNST, K. | 1973: | Fortschritte in der Spanplatten-
technik
DRW-Verlag, Stuttgart |
| DOSOUDIL, A. | 1969: | Studien über das hygroskopische
Verhalten von Holzspanplatten mit
besonderer Berücksichtigung der
Dimensionsstabilität
Holz als Roh- und Werkstoff,
Heft 5, S. 172 - 179 |
| EHLERS, W. | 1958: | Über die Bestimmung der Güte von
Holzoberflächen
Holz als Roh- und Werkstoff,
Heft 2, S. 49 - 60 |
| ENZENSBERGER, W. | 1969: | Moderne Beschichtungsverfahren für
Holzwerkstoffplatten
Holz als Roh- und Werkstoff,
Heft 12, S. 441 - 463 |
| FESYP | 1975/76: | Geschäftsbericht der Europäischen
Föderation der Verbände der Span-
plattenindustrie, vorgelegt vom
23. bis 25. Juni 1975 in Stockholm |
| FESYP | 1976/77: | Geschäftsbericht der Europäischen
Föderation der Verbände der Span-
plattenindustrie, vorgelegt am
27. 28. und 29. Juni 1977 in Oslo |
| FISCHER, A.
MERKLE, G. | 1963: | Oberflächenprüfung von Holzspan-
platten
Holz als Roh- und Werkstoff,
Heft 3, S. 96 - 104 |
| FLEMMING, H. | 1957: | Die Bestimmung der Oberflächengüte
an schwierigem Material
Zeitschrift für wirtschaftliche
Fertigung, Heft 1, S. 67 - 72 |
| FORSTER, A. | 1944: | Neuartiges Oberflächenmeßgerät
nach dem Differentialverfahren
Werkstattechnischer Betrieb,
S. 234 - 238 |

- | | |
|--|---|
| GEIMER, R.
MONTREY, H.
LEHMANN, W. | 1975: Effects of Layer Characteristics on the Properties of Three-Layer Particleboards
Forest Products Journal, Heft 3, S. 19 - 29 |
| GFELLER, B.
REITER, L. | 1978: Beurteilung der Oberflächengestalt von Spanplatten für Beschichtungszwecke Teil 1: Untersuchungsmethoden und Ergebnisse
Holz-Zentralblatt, Nr. 9, S. 146 - 148 |
| GRAF, U.
HENNING, H.-J. | 1955: Statistische Methoden bei textilen Untersuchungen
Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg |
| HUNGER, W. | 1959: Ziehklingen-Technologie
Unveröff. Dipl.-Arbeit, angefertigt am Lehrstuhl für Holz- und Faserwerkstofftechnik a.d. Fak. f. Technol. d. TH Dresden |
| JANKA G. | 1915: Die Härte der Hölzer
MFVÖ (Mitteilungen aus dem Forstlichen Versuchswesen Österreichs) |
| JOHNSON, J. | 1964: Effect of Exposure Cycles on Stability of Commercial Particleboard
Forest Products Journal, Heft 7, S. 277 - 282 |
| KARGER, S. | 1970: Untersuchung verschiedener Spanplattentypen auf ihre Eignung für die Oberflächenvergütung mit dekorativen Schichtpreßstoffen im Niederdruckbereich
Holzindustrie, Heft 1, S. 11 - 15 |
| KEHR, E. | 1963: Untersuchungen über die Eignung verschiedener Holzarten und -sortimente zur Herstellung von Spanplatten. 5. Mitteilung: Zur Hydrophobierung von Spanplatten aus Kiefern-, Buchen-, Erlen- und Birkenholz
Holztechnologie, Heft 1, S. 41 - 46 |

- KEHR, E.
SCHERFKE, R. 1963: Untersuchungen über den Einfluß der Abmessungen von Holzspänen auf die Eigenschaften von Spanplatten. 1. Mitteilung: Sortieren und Nachzerkleinern von Mittelschichtspänen Holztechnologie, Heft 3, S. 251 - 256
- KEHR, E.
GRABITZKI, H.-K. 1965: Untersuchungen zur Konditionierung von Spanplatten Holztechnologie, Heft 2, S. 81 - 87
- KEHR, E.
SCHILLING, W. 1965: Untersuchungen über die Eignung verschiedener Holzarten und -sortimente zur Herstellung von Spanplatten. 7. Mitteilung: Eiche, Aspe, Pappel, Hainbuche, Ulme, Lärche, sowie als Vergleichsholzarten Fichte und Kiefer Holztechnologie, Heft 4, S. 225 - 232
- KEHR, E. 1966: Zur Verbesserung der Oberflächengüte von Spanplatten Holz als Roh- und Werkstoff, Heft 7 S. 295 - 304
- KEHR, E.
SCHERFKE, R. 1966: Untersuchungen zur Verbesserung der Deckschichtqualität dreischichtiger Spanplatten Holztechnologie, Heft 2, S. 97 - 103
- KEHR, E.
WATZKE, H.
KARGER, S. 1966: Untersuchungen über die Eignung verschiedener Holzarten und -sortimente zur Herstellung von Spanplatten. 8. Mitteilung: Beitrag zur Formbeständigkeit von Spanplatten aus Rotbuchen- und Kiefernholz Holztechnologie, Heft 4, S. 277 - 281
- KEHR, E.
SCHÖLZEL, S. 1967: Untersuchungen über das Preßdiagramm zur Herstellung von Spanplatten. 2. Mitteilung: Einfluß von Spanfeuchte, Schließgeschwindigkeit und Preßdruck auf die Verdichtungscharakteristik beim Heißpressen von Spanplatten Holztechnologie, Heft 3, S. 177 - 181

- | | | |
|---|-------|--|
| KEHR, E.
JENSEN, U. | 1970: | Herstellung und Eigenschaften von Spanplatten mit Feinstpartikel-Deckschichten
Holz als Roh- und Werkstoff,
Heft 10, S. 385 - 391 |
| KEYLWERTH, R. | 1958: | Zur Mechanik der mehrschichtigen Spanplatte
Holz als Roh- und Werkstoff,
Heft 11, S. 419 - 430 |
| KEYLWERTH, R. | 1969: | Praktische Untersuchungen zum Holzfeuchtigkeits-Gleichgewicht
Holz als Roh- und Werkstoff,
Heft 8, S. 285 - 290 |
| KLAUDITZ, W. | 1952: | Untersuchungen über die Eignung von verschiedenen Holzarten, insbesondere von Rotbuchenholz zur Herstellung von Holzspanplatten
Bericht 25/52. Institut für Holzforschung, Braunschweig |
| KLAUDITZ, W.
STOLLEY, I. | 1955: | Über die biologisch-mechanischen und technischen Eigenschaften des Zugholzes
Holzforschung, Heft 1, S. 5 - 9 |
| KLAUDITZ, W.
ULBRICHT, H.
KRATZ, W. | 1958: | Über die Herstellung und Eigenschaften leichter Holzspanplatten
Holz als Roh- und Werkstoff,
Heft 12, S. 459 - 466 |
| KLAUDITZ, W.
BURO, A. | 1960: | Untersuchungen an Spanplatten aus Spangemischen verschiedener Holzarten
Bericht 64/1960. Institut für Holzforschung, Braunschweig |
| KNIGGE, W. | 1960: | Die Holzeigenschaften der Küstentanne
Allgemeine Forstzeitschrift, Nr. 7,
S. 94 |
| KNIGGE, W.
SCHULZ, H. | 1966: | Grundriss der Forstbenutzung
Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin |

- | | | |
|---------------------------------|-------|--|
| KOLLMANN, F. | 1951: | Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe
Bd. 1, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg |
| KOLLMANN, F. | 1955: | Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe
Bd. 2, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg |
| KOLLMANN, F.
HÖCHKELE, G. | 1962: | Kritischer Vergleich einiger Bestimmungungsverfahren der Holzfeuchtigkeit
Holz als Roh- und Werkstoff, Heft 12, S. 461 - 473 |
| KOLLMANN, F.
TEICHGRÄBER, R. | 1962: | Abhängigkeit der Querkzugfestigkeit der Spanplatten vom Anteil am Feingut
Holz als Roh- und Werkstoff, Heft 10, S. 404 - 405 |
| KOLLMANN, F.
CÔTÉ, W. | 1968: | Principles of Wood Science and Technology
1. Solid Wood, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York |
| KUSIAN, R. | 1968: | Modell-Untersuchungen über den Einfluß des Spanformats auf Struktur- und Festigkeitseigenschaften von Spanwerkstoffen. Teil 2.: Experimentelle Untersuchungen
Holztechnologie, Heft 4, S. 241 - 248 |
| LIIRI, O. | 1969: | Der Preßdruck bei der Spanplattenherstellung
Holz als Roh- und Werkstoff, Heft 10, S. 371 - 378 |
| LUNDGREN, A. | 1959: | Das Bendtsen-Prüfgerät für Holzfaser-Hartplatten
Holz als Roh- und Werkstoff, Heft 3, S. 98 - 102 |

- MAY, H.-A.
MEHLHORN, L. 1969: Untersuchungen über die Regelung der Verdichtungs- und Aushärtungsvorgänge bei der Herstellung von Spanplatten. Verbesserung der Preßbedingungen durch die Anwendung von Regelsystemen anstelle von Programmsteuerungen
Holz-Zentralblatt Nr. 86,
S. 1342 - 1347
- MAYER-WEGELIN, H. 1957: Die Verwendbarkeit des Pappelholzes auf Grund seines Aufbaues und seiner kennzeichnenden Eigenschaften
Holzforschung, Heft 5/6,
S. 130 - 139
- MAYR, H. 1894: Das Harz der Nadelhölzer
Berlin
- MODLIV, B.
OTLEV, I. 1975: Herstellung von Spanplatten
VEB Fachbuchverlag, Leipzig
- NEUSSER, H.
KRAMES, U.
KERN, F. 1960: Über das Verhalten von Spanplatten in Wasser
Holzforschung und Holzverwertung,
Heft 6, S. 98 - 107
- NEUSSER, H. 1963: Die Oberflächenqualität von Spanplatten, ihre Ursachen und ihre Prüfung
Holzforschung und Holzverwertung,
Heft 5, S. 83 - 88
- NEUSSER, H.
KRAMES, U.
HAIDINGER, K. 1965: Das Verhalten von Spanplatten gegenüber Feuchtigkeit unter besonderer Berücksichtigung der Quellung II
Holzforschung und Holzverwertung,
Heft 4, S. 57 - 69
- NEUSSER, H.
KRAMES, U. 1967: Die Bestimmung der Oberflächenform, vor allem bei Spanplatten, unter besonderer Berücksichtigung der Oberflächenschönheit
Holzforschung und Holzverwertung,
Heft 6, S. 97 - 115
- NEUSSER, H.
KRAMES, U. 1969: Über die Erfassung einiger wichtiger Kennzahlen von Holzspänen
Holzforschung und Holzverwertung,
Heft 4, S. 77 - 80

- | | | |
|--|-------|---|
| NEUSSER, H.
KRAMES, U.
ZENTNER, M. | 1969: | Spanplatten mit verschiedenen Deckschichtausführungen als Trägermaterial für Beschichtungen verschiedener Art
Holzforschung und Holzverwertung, Heft 3, S. 56 - 61 |
| NEUSSER, H.
KRAMES, U.
HAIDINGER, K.
SERENTSCHY, W. | 1969: | Der Spancharakter und sein Einfluß auf die Deckschichtqualität von Spanplatten
Holzforschung und Holzverwertung, Heft 4, S. 81 - 94 |
| NEUSSER, H.
KRAMES, U. | 1971: | Die Oberflächengestalt von Holzspanplatten - Ihre Erfassung und ihre Schönheitswirkung
Holz als Roh- und Werkstoff, Heft 3, S. 103 - 118 |
| NEUSSER, H.
ZENTNER, M. | 1974: | Vergleichsuntersuchung der wichtigsten heimischen Holzarten hinsichtlich ihrer Eignung für die Spanplattenherstellung
Holzforschung und Holzverwertung, Heft 3, S. 54 - 63 |
| NEUSSER, H.
ZENTNER, M. | 1975: | Untersuchungen zur Bestimmung des hygroskopischen Gleichgewichtes sowie der Dicken- und Längenquellung von Holzwerkstoffen
Holzforschung und Holzverwendung, Heft 2, S. 26 - 39 |
| OERTEL, J. | 1968: | Vergleichende Untersuchungen an Holzspan- und harten Faserplatten.
1. Mitteilung: Zusammenhänge zwischen dynamischen E-Modul, statischen E-Modul, Rohdichte und Biegefestigkeit
Holztechnologie, Heft 1, S. 24 - 29 |
| PAHLITZSCH, G.
DZIOBEK, K. | 1961: | Beitrag zur Bestimmung der Oberflächengüte spanend bearbeiteter Hölzer. 1. Mitteilung: Meßverfahren und Beurteilungsmethoden für bandgeschliffene Hölzer
Holz als Roh- und Werkstoff, Heft 10 S. 403 - 417 |
| PAHLITZSCH, G.
DZIOBEK, K. | 1965: | Die Beurteilung bearbeitender Holzoberflächen
Holztechnologie, Heft 4, S. 219 - 224 |

- PAULITSCH, M. 1973: Einfluß der Rohdichte und des Bindemittelanteils auf Dimensionsänderungen von phenolharzverleimten Spanplatten bei Wasserlagerung
FESYP (Europäische Föderation der Verbände der Spanplattenindustrie), 30. Sitzung der Technischen Kommission, S. 38 - 51
- PERKITNY, T. 1962: Beiträge zur Ermittlung der Qualität von Spanplatten
Holztechnologie, Heft 1, S. 64 - 70
- PERKITNY, T.
SZYMANKIEWICZ, H. 1963: Verlauf und Geschwindigkeit von Feuchtigkeitsänderungen in Holz und Spanplatten in Abhängigkeit von Differenz zwischen Anfangs- und Ausgleichsfeuchtigkeit
Holztechnologie, Heft 1, S. 17-22
- PÉTÉTIN, B. 1974: Untersuchung der Dimensionsänderungen an Spanplatten der Marke CTB-H
FESYP (Europäische Föderation der Verbände der Spanplattenindustrie), 32. Sitzung der Technischen Kommission, S. 43 - 59
- PLATH, E. 1963: Einfluß der Rohdichte auf die Eigenschaften von Holzwerkstoffen
Holz als Roh- und Werkstoff, Heft 3, S. 104 - 108
- PLATH, E.
SCHNITZLER, E. 1974: Das Rohdichteprofil als Beurteilungsmerkmal von Spanplatten
Holz als Roh- und Werkstoff, Heft 11, S. 443 - 447
- PLATH, L. 1971: Anforderungen an Spanplatten für Beschichtung mit Kunststoffen
Holz als Roh- und Werkstoff, Heft 10, S. 369 - 376
- POLOVTSEFF, B. 1961: Methode zur Erfassung der Oberflächenqualität von Spanplatten
FESYP (Europäische Föderation der Verbände der Spanplattenindustrie), 7. Sitzung der Technischen Kommission

- POLOVTSEFF, B. 1962: Bemerkungen zur Oberflächenbeurteilung von Spanplatten
FESYP (Europäische Föderation der Verbände der Spanplattenindustrie),
8. Sitzung der Technischen Kommission
- POPIELARZ, E. 1965: Zur optimalen Feuchte des zur Herstellung von Spanplatten bestimmten Rohstoffes
Holztechnologie, Heft 1, S. 46-50
- POST, P.W. 1958: Effect of particle geometry and resin content on bending strength of oak flake board
Forest Products Journal, Nr. 10, S. 317 - 322
- RACKWITZ, G. 1963: Der Einfluß der Spanabmessungen auf einige Eigenschaften von Holzspanplatten
Holz als Roh- und Werkstoff, Heft 6, S. 200 - 209
- RACKWITZ, G. 1964: Die Sichtung von Holzspänen. -Zweite Mitteilung. Beurteilung von Spänegemischen und Sichtvorgängen
Holz als Roh- und Werkstoff, Heft 10, S. 365 - 371
- REITER, L. 1975: Ursachen von Fehlverleimungen bei der Herstellung und Weiterverarbeitung von Holzwerkstoffen
Holz und Kunststoffverarbeitung, Heft 6, S. 440 - 452
- REITER, L.
GFELLER, B. 1977: Spanplatten für Beschichtungszwecke. Teil 1: Allgemeines, Beschichtungstechnik, Anforderungen an die Trägerplatten
Holz-Zentralblatt, Nr. 102, S. 1509 - 1512
- ROTHKAMM, M. 1970: Zur Oberflächengeometrie von Holzwerkstoffplatten
Disseration, Hamburg
- SACHS, L. 1974: Angewandte Statistik, Planung und Auswertung, Methoden und Modelle
Vierte Auflage, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York

- | | | |
|--|-------|---|
| SCHALCK, J. | 1967: | Über die Rohdichte und Festigkeit des Schwarzkiefernholzes (Pinus nigra Arnold) und den Zusammenhang zwischen Rohdichte und Holzstruktur, untersucht an belgischen Aufforstungsbeständen
Beihefte zum Forstwissenschaftlichen Centralblatt, Heft 24, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin |
| SCHEIBERT, W. | 1958: | Spanplatten. Herstellung, Verarbeitung, Anwendung
Fachbuchverlag, Leipzig, 1958 |
| SCHERFKE, R.
KEHR, E. | 1968: | Über die Herstellung und Eignung von Spanplatten für die Oberflächenbeschichtung
Holztechnologie, Heft 2, S. 113 - 119 |
| SCHNEIDER, A.
WAGNER, L. | 1974: | Bestimmung der Porengrößenverteilung in Holz mit dem Quecksilber-Porosimeter
Holz als Roh- und Werkstoff, Heft 6, S. 216 - 224 |
| SEIFERT, J. | 1972: | Einflüsse auf das Sorptionsverhalten der Holzwerkstoffe
Holz als Roh- und Werkstoff, Heft 3, S. 99 - 111 |
| SIEMINSKI, R. | 1966: | Prüfen und Messen der Oberflächengestalt von Holz und Holzwerkstoffen
Holz als Roh- und Werkstoff, Heft 9, S. 396 - 404 |
| STEGMANN, G.
DURST, J.
KRATZ, W. | 1965: | Pappelschichtholz als Rohstoff der Spanplattenindustrie
Holzforschung und Holzverwertung, Heft 3, S. 37 - 43 |
| STEGMANN, G.
BISMARCK, C.v. | 1967: | Technologie und Herstellung von einschichtigen Spanplatten aus verschiedenen Laubholzarten
Holz-Zentralblatt, Nr. 78, S. 1243 - 1246 |

- TRENDELENBURG, R. 1934: Untersuchungen über das Raumgewicht der Nadelhölzer. 1. Grundlagen und vergleichende Auswertung bisheriger Forschungen Tharandt. Fortl. JB. 85, S. 649
- TRENDELENBURG, R. 1936: Die Eigenschaften des Holzes und ihre Erforschung Bayerland 47, S. 513
- TRENDELENBURG, R. 1939: Das Holz als Rohstoff J.F. Lehmanns Verlag, München-Berlin
- TURNER, H.D. 1954: Effect of particle size and shape on strength and dimensional stability of Resin-bonded wood particle panels Forest Products Journal, Nr. 10, S. 210 - 223
- TRÖGER, F.K.
GRIGORIOU, A. 1976: Orientierende Beleimungsversuche von Feinspänen und Schleifstaub mit einem Schnellmischer FIMUR Forschungsbericht
- VINTILA, E. 1939: Untersuchungen über Raumgewicht und Schwindung von Früh- und Spätholz bei Nadelhölzern Holz als Roh- und Werkstoff, Heft 10, S. 345 - 357
- VORREITER, L. 1949: Holztechnologisches Handbuch Band 1: Allgemeines, Holzkunde, Holzschutz und Holzvergütung Verlag Georg Fromme & Co.
- WAGENFÜHR, R. 1969: Elektronenmikroskopische Untersuchungen der Struktur von Grenz- und Oberflächen in Holztechnik Holztechnologie, Heft 1, S. 37 - 40
- WAGENFÜHR, R.
SCHEIBER, C. 1974: Holzatlas VEB Fachbuchverlag, Leipzig
- WALKENHORST, R. 1954: Die Holzeigenschaften verschiedener Pappelsorten unter besonderer Berücksichtigung der Zugholzbiologie Diss. Hann., Münden

- WEICHERT, L. 1962: Hygroskopische Isothermen von Holzspanplatten bei 20° C
Unveröffentlichte Forschungsarbeit , München 1962
- WEICHERT, L. 1963: Untersuchungen über das Sorptions- und Quellungsverhalten von Fichte, Buche und Buchenpreßholz bei Temperaturen zwischen 20° C und 100° C
Dissertation, TH München
- WNUK, M. 1976: Untersuchungen zur Auswahl von Mikrospänen für die Herstellung von Spanplatten mit Feinstdeckschichten
Holztechnologie, Heft 2, S. 100 - 103
- ZANKOFF, N. 1943: Untersuchungen über Harzgehalt und einige physikalische Eigenschaften des Holzes der bulgarischen Nadelhölzer Peuce, Kiefer und Schwarzkiefer
Holz als Roh- und Werkstoff, Heft 3, S. 100 - 109
- ZHS 19/117 1969: Spanplatten aus Holz. Methoden zur Bestimmung der Streudichte. Werkstandard des Zentralinstituts für Holztechnologie, Dresden, April 1969
- ZHS 122 1969: Spanplatten aus Holz. Methoden zur Charakterisierung von Partikelgemischen. Werkstandard des Zentralinstituts für Holztechnologie, Dresden, September 1969

Anhang 1 Rohdichte der Deckschicht (in g/cm³)
der Spanplattenarten

Holzart der DS Holzart und Anteil der MS		Strobe	Tanne	Schwarz- kiefer	Pappel	Eiche	Rot- buche	Hain- buche
Ki ₆₅	$\bar{x}$	0,991	0,969	0,987	0,917	0,936	0,903	0,915
	v	3,12	2,91	1,74	2,63	2,04	2,47	1,65
	N	18	16	18	18	18	18	18
Ki ₅₀	$\bar{x}$	0,934	0,923	0,927	0,878	0,898	0,868	0,869
	v	3,23	2,50	3,44	2,31	2,03	2,60	1,84
	N	18	18	18	18	18	18	17
Bu ₆₅	$\bar{x}$	0,991	0,932	0,982	0,916	0,927	0,907	0,895
	v	2,89	3,57	3,41	3,31	2,33	1,87	1,24
	N	18	16	18	18	18	18	16
Bu ₅₀	$\bar{x}$	0,915	0,889	0,917	0,870	0,869	0,860	0,860
	v	2,94	3,15	2,33	2,60	2,08	2,14	1,35
	N	17	18	18	18	18	15	18

Anhang 2 Rohdichte der Mittelschicht (in g/cm³)
der Spanplattenarten

Holzart der DS Holzart und Anteil der MS		Strobe	Tanne	Schwarz- kiefer	Pappel	Eiche	Rot- buche	Hain- buche
Ki ₆₅	$\bar{x}$	0,554	0,585	0,576	0,577	0,577	0,596	0,594
	v	3,68	3,73	2,17	3,11	4,08	1,85	2,37
	N	18	18	18	18	17	18	18
Ki ₅₀	$\bar{x}$	0,536	0,553	0,547	0,555	0,560	0,565	0,569
	v	2,82	3,31	3,75	2,56	1,64	3,60	3,15
	N	18	18	18	18	17	18	18
Bu ₆₅	$\bar{x}$	0,581	0,590	0,595	0,593	0,600	0,607	0,601
	v	2,14	3,10	2,90	2,97	2,34	3,21	2,58
	N	18	18	18	18	17	18	18
Bu ₅₀	$\bar{x}$	0,561	0,575	0,577	0,575	0,575	0,591	0,589
	v	3,33	3,71	2,29	2,19	1,76	2,81	2,54
	N	18	17	18	18	18	18	18

Anhang 3 Feuchtigkeitsänderung des gesamten Spanplattenquerschnitts (in %) der Spanplattenarten bei Übergang von Normalklima (20/65) zu einem Feuchtklima (20/90)

Holzart der DS Holzart und Anteil der MS		Strobe	Tanne	Schwarz- kiefer	Pappel	Eiche	Rot- buche	Hain- buche
Ki ₆₅	$\bar{x}$	6,7	7,1	6,9	6,8	6,9	7,3	7,4
	v	0,90	1,26	1,15	0,55	1,16	0,41	0,48
	N	3	3	3	3	3	3	3
Ki ₅₀	$\bar{x}$	6,2	6,6	6,6	6,5	6,5	7,5	7,6
	v	0,46	2,35	0,63	1,50	1,08	0,53	1,18
	N	3	3	3	3	3	3	3
Bu ₆₅	$\bar{x}$	7,0	7,4	7,3	7,3	7,3	7,8	7,9
	v	0,99	0,28	0,71	1,82	0,59	0,13	1,38
	N	3	3	3	3	3	3	3
Bu ₅₀	$\bar{x}$	6,6	6,9	6,9	6,9	6,9	7,8	8,1
	v	0,71	1,79	2,61	1,04	0,80	0,32	0,68
	N	3	3	3	3	3	3	3

Anhang 4 Dickenänderung des gesamten Spanplattenquerschnitts (in %) der Spanplattenarten bei Übergang von Normalklima (20/65) zu einem Feuchtklima (20/90)

Holzart der DS Holzart und Anteil der MS		Strobe	Tanne	Schwarz- kiefer	Pappel	Eiche	Rot- buche	Hain- buche
Ki ₆₅	$\bar{x}$	7,39	7,23	6,82	6,32	6,55	7,38	7,07
	v	5,00	0,86	7,92	1,05	5,33	2,35	2,57
	N	3	3	3	3	3	3	3
Ki ₅₀	$\bar{x}$	5,54	5,85	5,45	5,47	5,40	6,52	6,44
	v	1,90	4,31	2,88	2,48	3,97	0,61	2,74
	N	3	3	3	3	3	3	3
Bu ₆₅	$\bar{x}$	6,18	6,25	6,34	5,98	5,80	6,75	6,59
	v	3,39	2,72	5,13	3,16	5,12	1,93	2,15
	N	3	3	3	3	3	3	3
Bu ₅₀	$\bar{x}$	5,78	5,89	5,34	5,62	5,33	6,59	6,44
	v	5,34	2,51	3,40	1,51	2,63	0,75	1,41
	N	3	3	3	3	3	3	3

Anhang 5 Feuchtigkeitsänderung der Mittelschicht (in %) der Spanplattenarten bei Übergang von Normalklima (20/65) zu einem Feuchtklima (20/90)

Holzart der DS Holzart und Anteil der MS		Strobe	Tanne	Schwarz- kiefer	Pappel	Eiche	Rot- buche	Hain- buche
Ki ₆₅	$\bar{x}$	6,6	6,6	6,4	6,9	6,5	6,6	6,6
	v	1,37	1,29	1,85	1,94	1,60	0,57	0,68
	N	3	3	3	3	3	3	3
Ki ₅₀	$\bar{x}$	6,7	6,4	6,6	6,9	6,5	6,6	6,6
	v	0,56	0,78	0,85	0,30	2,65	1,88	0,57
	N	3	3	3	3	3	3	3
Bu ₆₅	$\bar{x}$	7,1	7,4	7,2	7,4	7,2	7,5	7,5
	v	0,81	1,47	0,83	0,41	1,08	1,74	0,66
	N	3	3	3	3	3	3	3
Bu ₅₀	$\bar{x}$	7,3	7,3	7,3	7,4	7,1	7,3	7,5
	v	0,52	3,66	1,09	0,49	2,23	2,24	0,61
	N	3	3	3	3	3	3	3

Anhang 6 Dickenänderung der Mittelschicht (in %) der Spanplattenarten bei Übergang von Normalklima (20/65) zu einem Feuchtklima (20/90)

Holzart der DS Holzart und Anteil der MS		Strobe	Tanne	Schwarz- kiefer	Pappel	Eiche	Rot- buche	Hain- buche
Ki ₆₅	$\bar{x}$	5,02	5,94	5,03	5,19	5,18	5,72	5,51
	v	2,33	7,59	7,85	7,96	4,76	5,17	8,31
	N	3	3	3	3	3	3	3
Ki ₅₀	$\bar{x}$	4,85	5,17	4,56	5,00	5,07	5,26	5,16
	v	5,75	6,82	9,43	8,95	4,93	1,98	1,29
	N	3	3	3	3	3	3	3
Bu ₆₅	$\bar{x}$	5,13	5,65	5,06	5,31	5,24	5,46	5,30
	v	6,25	6,59	2,58	3,86	1,84	2,11	2,08
	N	3	3	3	3	3	3	3
Bu ₅₀	$\bar{x}$	4,99	5,17	4,78	4,99	4,91	5,06	5,08
	v	2,40	7,54	3,08	3,15	5,94	6,47	7,11
	N	3	3	3	3	3	3	3

Anhang 7 Feuchtigkeitsänderung der Deckschicht (in %) der Spanplattenarten bei Übergang von Normalklima (20/65) zu einem Feuchtklima (20/90)

Holzart der DS Holzart und Anteil der MS		Strobe	Tanne	Schwarz- kiefer	Pappel	Eiche	Rot- buche	Hain- buche
Ki ₆₅	$\bar{x}$	7,0	7,6	7,3	7,4	7,6	9,0	9,6
	v	1,54	0,86	1,63	1,25	1,39	0,44	0,89
	N	6	6	6	6	6	6	6
Ki ₅₀	$\bar{x}$	6,3	6,8	6,8	6,5	7,1	8,6	9,2
	v	2,34	2,05	3,36	1,89	2,03	0,61	3,33
	N	6	6	6	6	6	6	6
Bu ₆₅	$\bar{x}$	7,3	7,8	7,5	7,7	7,6	8,9	9,6
	v	1,23	0,86	2,58	1,60	0,58	1,33	0,32
	N	6	6	6	6	6	6	6
Bu ₅₀	$\bar{x}$	6,7	7,1	7,1	7,0	7,3	8,6	9,3
	v	2,63	1,94	1,65	2,40	1,25	0,91	0,88
	N	6	6	6	6	6	6	6

Anhang 8 Dickenänderung der Deckschicht (in %) der Spanplattenarten bei Übergang von Normalklima (20/65) zu einem Feuchtklima (20/90)

Holzart der DS Holzart und Anteil der MS		Strobe	Tanne	Schwarz- kiefer	Pappel	Eiche	Rot- buche	Hain- buche
Ki ₆₅	$\bar{x}$	12,60	12,24	12,32	10,37	8,37	12,12	12,43
	v	10,78	3,87	3,33	11,03	7,82	9,98	6,98
	N	6	6	6	6	6	6	6
Ki ₅₀	$\bar{x}$	8,14	7,26	7,85	7,11	6,15	9,15	9,65
	v	7,27	4,59	2,98	8,15	8,57	3,95	7,28
	N	6	6	6	6	6	6	6
Bu ₆₅	$\bar{x}$	14,51	11,43	11,76	11,56	9,06	12,20	13,63
	v	2,67	9,50	10,30	7,96	11,13	4,11	6,60
	N	3	6	6	6	6	6	6
Bu ₅₀	$\bar{x}$	9,70	7,64	8,22	8,23	6,44	9,88	9,98
	v	5,04	6,98	6,54	4,70	7,03	7,48	5,17
	N	6	5	6	6	6	5	6

Anhang 9 Querkzugfestigkeit (in N/mm^2) der Spanplattenarten

Holzart der DS Holzart und Anteil der MS		Strobe	Tanne	Schwarz- kiefer	Pappel	Eiche	Rot- buche	Hain- buche
Ki ₆₅	$\bar{x}$	0,23	0,31	0,32	0,31	0,28	0,29	0,29
	v	12,27	15,01	10,33	9,82	12,39	12,81	9,04
	N	18	18	18	18	17	17	18
Ki ₅₀	$\bar{x}$	0,21	0,29	0,30	0,32	0,27	0,29	0,28
	v	14,49	11,43	14,52	9,36	9,15	8,77	8,87
	N	18	17	18	18	18	18	18
Bu ₆₅	$\bar{x}$	0,51	0,51	0,54	0,50	0,52	0,61	0,59
	v	16,92	20,61	9,39	9,46	9,44	8,52	8,90
	N	17	18	18	18	17	17	16
Bu ₅₀	$\bar{x}$	0,48	0,47	0,52	0,50	0,49	0,58	0,57
	v	14,37	15,83	9,29	8,20	9,75	8,56	7,42
	N	18	17	17	18	18	18	18

Anhang 10 Biegefestigkeit (in N/mm^2) der Spanplattenarten

Holzart der DS Holzart und Anteil der MS		Strobe	Tanne	Schwarz- kiefer	Pappel	Eiche	Rot- buche	Hain- buche
Ki ₆₅	$\bar{x}$	22,09	28,15	26,83	25,68	25,17	24,74	25,90
	v	7,44	5,41	5,07	4,77	7,44	7,16	5,40
	N	14	15	15	15	15	15	15
Ki ₅₀	$\bar{x}$	22,00	27,44	26,68	26,56	26,27	24,55	26,31
	v	13,26	9,81	6,95	3,56	5,71	6,15	7,92
	N	15	15	15	15	15	15	15
Bu ₆₅	$\bar{x}$	25,99	28,68	28,95	27,13	27,54	25,48	28,08
	v	8,42	10,21	6,12	6,75	5,77	6,06	7,12
	N	15	15	15	15	15	15	15
Bu ₅₀	$\bar{x}$	26,67	30,79	29,14	28,14	28,65	26,42	29,49
	v	4,11	6,44	7,31	8,90	7,71	6,15	4,21
	N	15	15	15	15	15	15	15

Anhang 11 Abhebefestigkeit (in N/mm^2) der Spanplattenarten

Holzart und Anteil der MS \ Holzart der DS		Strobe	Tanne	Schwarz- kiefer	Pappel	Eiche	Rot- buche	Hain- buche
Ki ₆₅	$\bar{x}$	0,89	1,20	1,08	1,07	1,32	1,13	1,14
	v	7,15	7,18	10,33	9,32	9,44	9,87	11,09
	N	58	44	48	58	39	55	44
Ki ₅₀	$\bar{x}$	0,90	1,29	1,15	1,07	1,51	1,22	1,36
	v	7,64	8,24	8,73	13,09	7,61	12,69	8,05
	N	56	47	45	57	29	40	33
Bu ₆₅	$\bar{x}$	1,10	1,45	1,37	1,23	1,65	1,57	1,58
	v	8,42	11,95	10,57	11,00	10,36	6,52	10,36
	N	50	57	54	58	56	56	48
Bu ₅₀	$\bar{x}$	1,08	1,38	1,34	1,27	1,65	1,53	1,57
	v	9,07	10,43	8,16	14,33	8,13	10,46	10,52
	N	54	56	53	56	48	53	51

Anhang 12 Gemittelte Rauhtiefe R_z (in μm) der Spanplattenoberflächen nach der Klimatisierung im Normalklima (20/65)

Holzart und Anteil der MS \ Holzart der DS		Strobe	Tanne	Schwarz- kiefer	Pappel	Eiche	Rot- buche	Hain- buche
Ki ₆₅	$\bar{x}$	29,3	37,4	32,7	37,2	38,5	48,0	50,1
	v	6,98	7,31	6,41	6,42	6,12	5,98	12,53
	N	18	18	18	18	18	18	18
Ki ₅₀	$\bar{x}$	28,9	32,7	32,7	36,2	35,7	44,2	50,4
	v	5,04	5,70	7,69	8,04	9,99	10,09	10,82
	N	18	18	18	18	18	18	18
Bu ₆₅	$\bar{x}$	28,8	37,1	32,3	35,7	36,3	48,9	54,4
	v	6,01	8,62	11,39	8,52	11,37	11,44	10,94
	N	18	18	18	18	18	18	18
Bu ₅₀	$\bar{x}$	28,9	34,4	34,2	35,1	37,7	46,6	53,5
	v	4,91	11,65	11,61	8,50	6,87	10,38	13,39
	N	18	18	18	18	18	18	18

Anhang 13 Gemittelte Rauhtiefe R_z (in μm) der Spanplattenoberflächen nach der Klimatisierung in einem Feuchtklima (20/90)

Holzart der DS Holzart und Anteil der MS		Strobe	Tanne	Schwarz- kiefer	Pappel	Eiche	Rot- buche	Hain- buche
Ki ₆₅	$\bar{x}$	47,7	59,6	64,7	55,7	61,6	70,5	77,0
	v	4,96	6,97	8,78	6,68	6,90	5,44	8,06
	N	18	18	15	18	17	18	18
Ki ₅₀	$\bar{x}$	43,7	58,9	54,9	52,9	56,9	65,7	74,9
	v	3,87	2,67	6,34	7,84	10,13	5,49	7,40
	N	18	18	18	18	18	18	18
Bu ₆₅	$\bar{x}$	49,9	57,2	55,1	56,8	51,0	70,4	77,0
	v	5,09	6,53	7,53	7,56	8,03	9,88	6,22
	N	18	18	18	18	18	18	18
Bu ₅₀	$\bar{x}$	48,6	55,8	55,1	54,7	53,7	69,6	77,2
	v	4,71	6,03	8,68	8,28	6,73	6,52	7,86
	N	18	18	18	18	18	18	18

Anhang 14 Gemittelte Rauhtiefe R_z (in μm) der Spanplattenoberflächen nach der Rückklimatisierung im Normalklima (20/90 $\rightarrow$ 20/65)

Holzart der DS Holzart und Anteil der MS		Strobe	Tanne	Schwarz- kiefer	Pappel	Eiche	Rot- buche	Hain- buche
Ki ₆₅	$\bar{x}$	39,5	50,9	50,8	44,5	46,8	59,6	60,5
	v	3,57	8,53	7,89	6,75	8,30	7,50	8,92
	N	18	18	18	18	17	18	18
Ki ₅₀	$\bar{x}$	35,1	44,2	44,8	44,2	43,5	56,3	59,4
	v	3,91	6,03	6,40	8,44	7,09	6,29	7,87
	N	18	18	18	18	18	18	18
Bu ₆₅	$\bar{x}$	39,3	46,4	45,3	46,5	44,7	60,2	67,8
	v	5,09	5,57	8,86	5,10	8,93	6,34	6,35
	N	18	18	18	18	17	18	17
Bu ₅₀	$\bar{x}$	38,3	45,3	45,5	45,8	45,8	59,8	66,4
	v	6,45	8,67	10,70	8,53	9,48	7,86	8,52
	N	18	18	18	18	18	17	18

Anhang 15 Wasseraufnahme (in %) der Deckschichten von DS₅₀ / Ki₅₀ durch einseitige Wassereinwirkung auf die Spanplattenoberfläche nach 2, 4 und 8 Stunden.

Holzart der DS Einwirkungs- dauer		Strobe	Tanne	Schwarz- kiefer	Pappel	Eiche	Rot- buche	Hain- buche
2 h	$\bar{x}$	0,66	0,42	1,81	0,81	0,55	1,86	1,24
	v	11,59	19,73	38,98	11,30	11,49	14,82	7,94
	N	9	9	9	9	9	9	9
4 h	$\bar{x}$	0,99	0,72	3,35	1,42	0,98	3,36	2,18
	v	22,95	12,83	39,80	11,90	15,36	16,23	8,95
	N	9	9	9	9	9	9	9
8 h	$\bar{x}$	1,57	0,98	5,22	2,52	1,44	5,52	3,74
	v	23,52	14,8	39,73	9,75	10,70	13,20	9,87
	N	9	9	9	9	9	9	9

Anhang 16 Dickenänderung (in %) der Deckschichten von DS₅₀ / Ki₅₀ durch einseitige Wassereinwirkung auf die Spanplattenoberfläche nach 2, 4 und 8 Stunden.

Holzart der DS Einwirkungs- dauer		Strobe	Tanne	Schwarz- kiefer	Pappel	Eiche	Rot- buche	Hain- buche
2 h	$\bar{x}$	0,59	0,48	0,97	0,58	0,35	0,73	0,79
	v	20,86	14,29	17,84	15,59	7,00	13,64	20,29
	N	9	9	9	9	9	9	9
4 h	$\bar{x}$	0,77	0,66	1,56	0,86	0,46	1,14	1,09
	v	31,12	14,27	17,21	13,42	5,54	14,22	10,71
	N	9	9	9	9	9	9	9
8 h	$\bar{x}$	1,05	0,86	2,47	1,22	0,72	1,78	1,55
	v	27,76	18,16	24,32	18,98	11,14	7,33	10,25
	N	8	9	9	9	9	9	9

Lebenslauf

Am 5. März 1948 wurde ich, Athanassios Grigoriou, als Sohn des damaligen Eisenbahnarbeiters Herakles Grigoriou und seiner Ehefrau Lemonia, geb. Pothara, in Thessaloniki/Griechenland geboren.

Von 1954 bis 1960 besuchte ich die Volksschule in Thessaloniki und trat danach ins dortige Gymnasium ein, wo ich 1966 die Reifeprüfung ablegte.

1966 bestand ich die Universitätsaufnahmeprüfung und begann dann im gleichen Jahr mit dem Studium der Forstwissenschaft an der Forst- und Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Thessaloniki, wo ich 1971 das Diplom der Forstwissenschaft erwarb.

In der Zeit vom August 1971 bis August 1973 leistete ich den Militärdienst in Griechenland ab.

Ab Mai 1974 bin ich als Stipendiat des griechischen Kultusministeriums zu einem Aufbaustudium am Institut für Holzforschung der Universität München tätig. Meine weitere Ausbildung wurde ab Oktober 1977 durch ein Stipendium des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD) ermöglicht.

